

# Terraplenes y balasto en la Alta Velocidad Ferroviaria. Cuarta parte: Los trazados de Alta Velocidad en España (I). Algunas alternativas

## Embankments and Ballast in High Speed Rail. Fourth part: High-speed railway alignments in Spain (1). Certain alternatives

**Manuel Melis Maynar.** Prof. Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos. M.Sc, MBA  
*Catedrático de Geotecnia. ETS Caminos Coruña (Exced.).*  
*Catedrático de Ferrocarriles. ETS Caminos Madrid. mmelism@terra.es*

**Resumen:** En las tres primeras partes de este trabajo, publicadas en la ROP, el autor ha intentado mostrar la conveniencia de modificar los criterios de los Estudios Informativos actuales en España, de alargar los túneles ferroviarios para la Alta Velocidad y de bajar sus rasantes, agrupando en uno más largo y profundo los numerosos tunelillos cortos que hoy se están diseñando para los AVE en la cima de las montañas y reduciendo a unos 5 o 10 m la altura máxima de los terraplenes. El terraplén y los rellenos son, en opinión del autor, los enemigos de la Alta Velocidad ferroviaria, ya que por sus grandes descensos impiden instalar la vía en placa y obligan a la vía en balasto. Recientemente ha indicado además el Ministerio de Fomento (Ref.1) que el schotterflug o vuelo del balasto obliga a muy importantes limitaciones en la velocidad de los trenes, pero naturalmente la vía en placa que es la única alternativa exige reconsideraciones muy importantes en los trazados de los Estudios Informativos. En esta última parte del trabajo se analizan brevemente los trazados AVE españoles de Sevilla y Zaragoza, se miden las aceleraciones laterales del mismo tren en ambas vías y se observa cómo estos erróneos criterios de los Estudios Informativos han llevado a que la recientemente abierta vía del AVE de Zaragoza-Barcelona sea hoy de mucha peor calidad que la vieja vía de Sevilla de 1992. Con el tipo de trazado que el autor sugiere el tren podrá circular a su velocidad de 350 o 400 km/h, la infraestructura será más rápida y segura de construcción, la afección al Medio Ambiente mucho menor, el coste mucho menor también y sobre todo las infraestructuras estarán listas en su plazo y la calidad de la vía será la adecuada.

**Palabras Clave:** Alta Velocidad; Terraplén; Balasto; Aceleración; Calidad vía

**Abstract:** In the first three parts of this work, published in the ROP, the author has attempted to demonstrate the need to modify the criteria of current Informative Studies in Spain, to lengthen High-Speed railway tunnels and reduce their gradients, bringing the numerous short tunnels which are currently designed for the AVE in mountain areas into longer and deeper tunnels and reducing the maximum height of embankments to some 5 or 10 m. Embankments and backfill are, in the author's opinion, the enemies of high-speed rail as their large drops prevent the installation of slab track and make it necessary to employ ballast track. Furthermore, the Spanish Ministry of Development has recently indicated that schotterflug or flying ballast makes it necessary to impose considerable restrictions on train speed though slab track, which is the only possible alternative, requires an important review of alignments in the Informative Studies. In this last part of the work a brief analysis is made of the Seville and Zaragoza AVE routes, with measurements of the lateral accelerations of the same train on both tracks and observing how the erroneous criteria of Informative Studies have led to the situation where the recently opened AVE route between Zaragoza and Barcelona is of much poorer quality than the old 1992 Seville line. The author suggests that when using this type of track the train may run at speeds of 350 or 400 kph, the infrastructure will be far faster and the construction safer, with reduced environmental impact and costs and infrastructures built to schedule times with more suitable quality track.

**Keywords:** High-speed; Embankment; ballast; acceleration; track quality

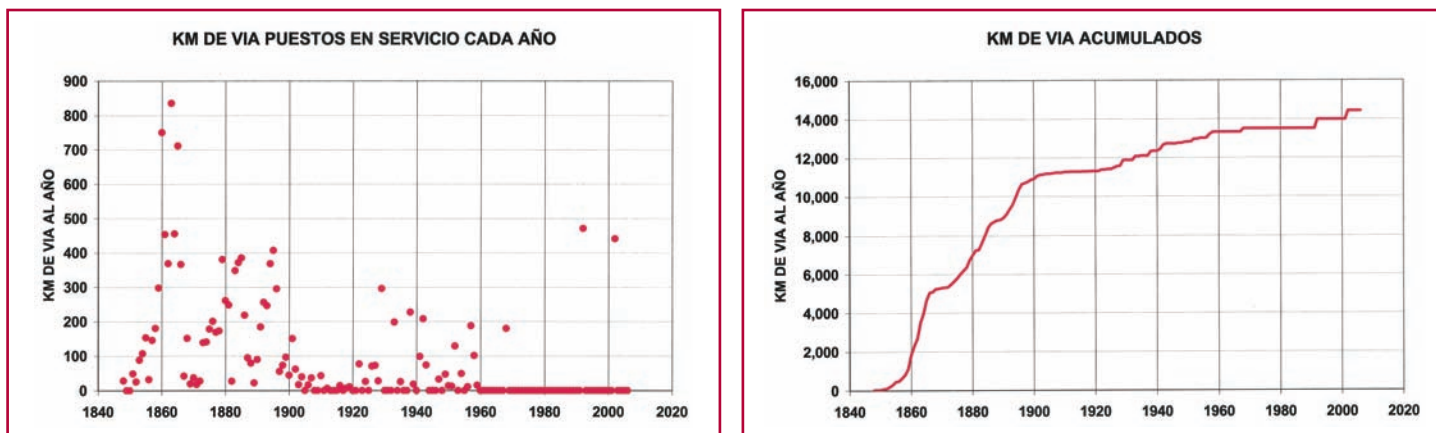


Fig. 1. Fechas de construcción de la red ferroviaria española.

### Introducción

La Ingeniería de Caminos española tiene una extraordinaria tradición ferroviaria y una extraordinaria experiencia acumulada. La red de RENFE, que tuvo más de 13.400 km, fue construida en los siglos XIX y XX por empresas privadas, con limitaciones de capital y consignas de ahorro muy grandes por ser capital privado y por ser objetivo primordial la rentabilidad económica y financiera de la concesión y como consecuencia el coste y el plazo de las obras. No existían los equipos ni la maquinaria de que disponemos ahora, porque las perforadoras de aire comprimido aparecieron por primera vez en el túnel de Frejus en 1861 inventadas por Germain Sommeiller, la dinamita apareció en 1860 inventada por Nobel, la widia de uso práctico en 1950 por la casa Krupp y las perforadoras hidráulicas en 1969, y los transportes eran con carretas de mulas. Y pese a estas enormes limitaciones presupuestarias y de medios materiales, maquinaria y equipos, los tramos de red que construyeron nuestros antecesores cada año y los agrupados en periodos de 14 años fueron los indicados en la figura 1 y la tabla 1. Excavando prácticamente a mano (Ref.2) se llegaron a poner en servicio más de 700 nuevos km en un solo año en 1860, 1863 y 1865, y más de 300 km en cada uno de los años 1859, 61, 62, 64, 66, 79, 83, 84, 85, 94, 95, 96 y 1929. En periodos de 14 años los Ingenieros de Caminos españoles del siglo XIX llegaron a poner en servicio hasta 3.500 nuevos km de red ferroviaria (Ref.3,4).

Este año 2007 hace 15 años que se pusieron en servicio los 471 km del AVE de Sevilla, y en todo este periodo, disponiendo de cuantiosos fondos de la Unión Europea y con un ilimitado acceso al mercado de ca-

pitales sin que compute deuda como ocurre con las Comunidades Autónomas o las Administraciones locales, sólo hemos puesto en servicio el tramo Madrid-Lérida de 440 km, sin la señalización prevista y sin el material móvil –que está todavía llegando mientras se escriben estas líneas– y circulando como veremos a 250 km/h o menos salvo en unos cortos tramos que no llegan a sumar 61 km en que circula a un máximo de 280 km/h cuando las especificaciones eran de 350 km/h para toda la línea. El 16 y 19 de Diciembre de 2006 se han puesto en servicio los pequeños tramos de 100 km del Córdoba-Antequera tras 5 largos años de trabajos y los 82.5 km del tramo Lérida-Tarragona. Si el lector repasa los documentos ministeriales o las hemerotecas (Ref.5) verá que en 1996 los fondos del AVE Madrid-Barcelona-Frontera estaban disponibles y se anunciaba que el AVE llegaría a la estación de Sagrera de Barcelona a 350 km/h antes del año 2002. Suponiendo que lo haga el año 2010 (lo que sería, en todo caso, a 280 km/h), el coste social que suponen estos 8 años de retraso valorando a 12 €/hr las 4 horas de ahorro de tiempo de viaje para los más de 12 mi-

Tabla 1. Longitudes de FFCC construidas por los Ingenieros de Caminos españoles en periodos de 14 años en el siglo XIX

Construcción de la red de ancho Renfe en periodos de 14 años	
Período de 14 años	Km de FFCC
Total 1848 a 1861	2,312.69
Total 1862 a 1875	3,493.17
Total 1876 a 1889	3,142.04
Total 1890 a 1903	2,347.16
Total 1904 al final (1960)	2,193.46
<b>Suma km de la red</b>	<b>13,488.52</b>

Tabla 2. Fechas de construcción del FCC Madrid-Sevilla		
Tramo	km	Fecha
Madrid-Aranjuez	48.66	10-feb-1851
Aranjuez-Tembleque	52.41	12-sep-1853
Tembleque-Alcázar	47.00	20-jun-1854
Alcázar-Manzanares	49.25	1-jul-1860
Manzanares-Santa Cruz	41.72	21-abr-1862
Santa Cruz-Venta de Cárdenas	26.94	25-may-1865
Venta de Cárdenas-Vilches	29.60	8-jul-1866
Vilches-Córdoba	145.83	15-sep-1866
<b>Total Madrid-Córdoba</b>	<b>441.39</b>	
Córdoba-Lora	74.50	2-jun-1859
Lora-Sevilla	55.50	5-mar-1859
<b>Total Madrid-Sevilla</b>	<b>571.39</b>	

liones de viajeros previstos al año superará los 4.600 millones de euros, casi 800.000 millones de Pta, y la vía entregada a la sociedad española tras estos 14 largos años de trabajo es como puede verse en lo que sigue de muy inferior calidad que la de Sevilla. El autor cree que en algún momento la sociedad española nos exigirá a los Ingenieros de Caminos explicar estas cosas, porque la responsabilidad es toda nuestra y sólo nuestra por no hablar alto, claro y a tiempo.

**Los trazados de Alta Velocidad en España (I).  
Algunas alternativas**

**1. Ave de Sevilla. El cruce de Sierra Morena**

La antigua vía férrea Madrid-Córdoba-Sevilla se construyó en las fechas indicadas en la tabla 2.

El ferrocarril iba a morir -había muerto- en España en los años 80, y la valiente decisión de adaptar el Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía a la Alta Velocidad lo hizo renacer, tanto que las enormes inversiones actuales en ferrocarriles en España se deben a ese hecho. Esta línea de nuevo acceso ferroviario a Andalucía se presentó el 11 de octubre de 1986 en el Ayuntamiento de Sevilla por el Vicepresidente del Gobierno, el Ministro de Transportes y el Alcalde de Sevilla de la época (Ref.6) y ese mismo día se anunció que los 471 km de la nueva línea estarían en servicio en 5 años, como así ocurrió. Sin embargo la línea no nació inicialmente como Alta Velocidad, sino como

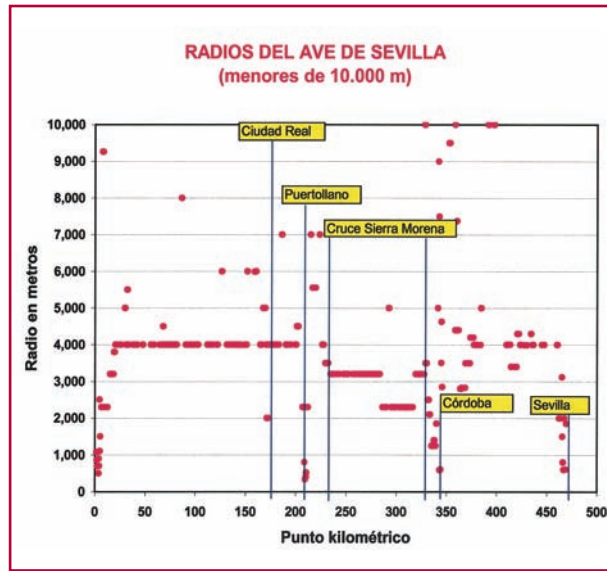


Fig. 2. Radios menores de 10.000 m en el AVE de Sevilla.

solución al estrangulamiento de Despeñaperros, así se incluyó en el Plan de Transporte Ferroviario aprobado el 30 de Abril de 1987, y de ahí sus reducidos radios de 4.000 m, 3.200 y 2.300 m en los pasos de montaña en el cruce de Sierra Morena que limitan su velocidad hasta a 215 km/h en algún tramo. A los pocos meses estaban adjudicadas las obras del tramo Brazatortas-Córdoba, y terminado el Proyecto de Construcción del tramo Getafe-Brazatortas (Ref.7). El trazado tiene 525 curvas, de las que 252 tienen un radio menor de 4.000 m. La figura 1 muestra los radios menores de 10.000 m.

Hay 23 radios mayores de 10.000 m, entre ellos los 2 famosos de 65.674,46 y 70.475,99 metros que se debie-

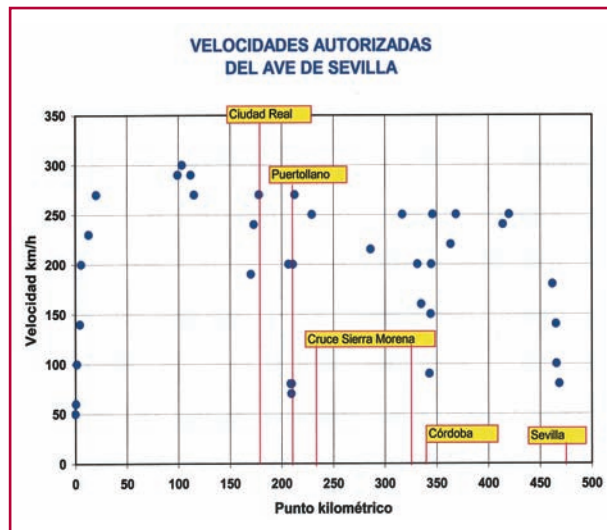
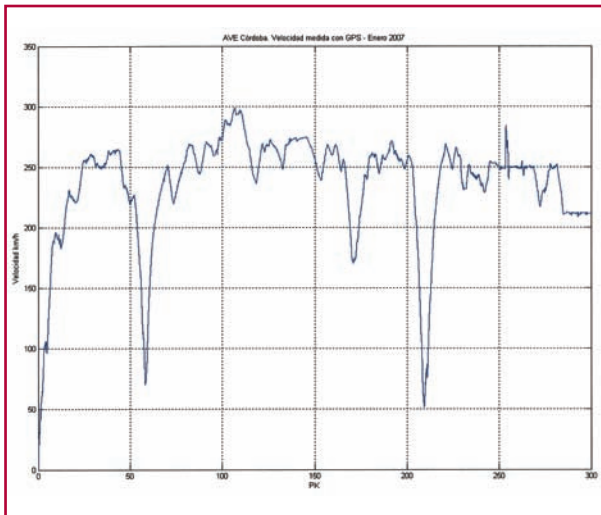


Fig. 3 A. Velocidades autorizadas en el AVE de Sevilla.

Fig. 3 B. Velocidades medidas a bordo en el AVE Madrid-Córdoba, 20 enero 2007.



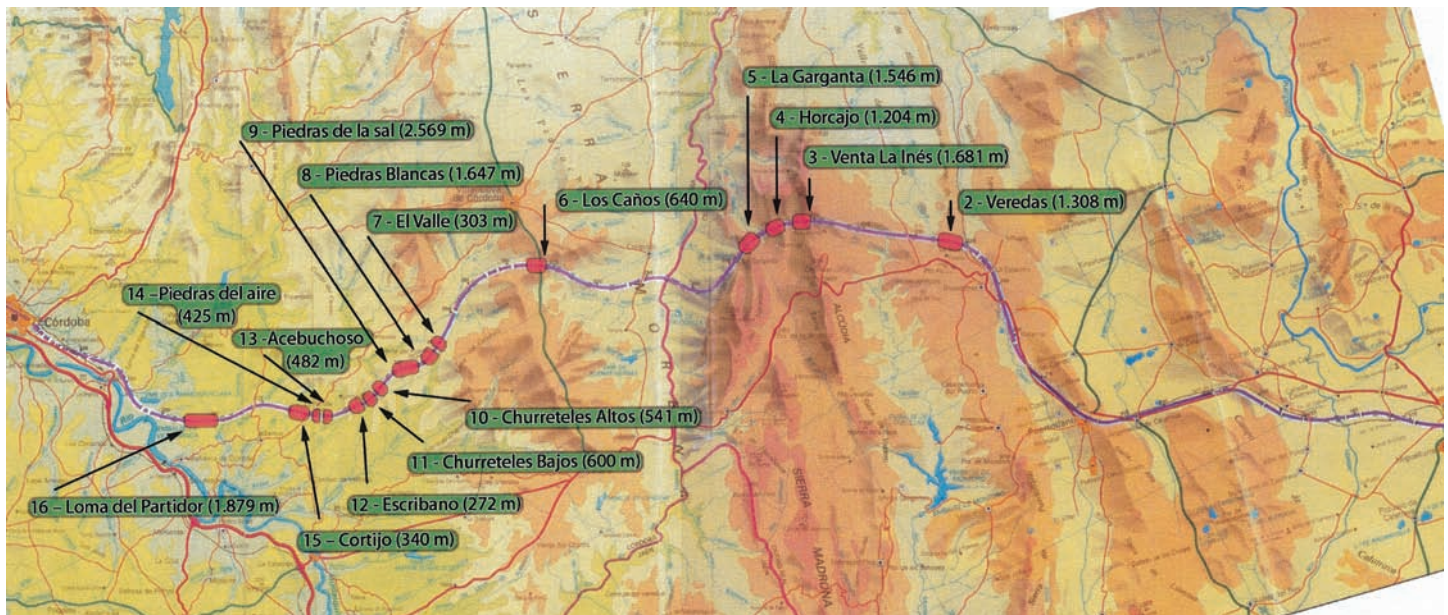
ron al descuadre de 1.5 m entre las dos alineaciones rectas del pk 440. Lo mismo parece que ocurrió en el pk 348.6 donde las alineaciones rectas debieron ajustarse con radios de 24.324,17 m. Como se ve, el cruce de la zona montañosa se hace con radios de 3.200 y 2.300 m en la parte sur, y el radio de diseño es de 4.000 m. En el AVE de Zaragoza siguiente este radio mínimo se aumentó a 7.500 m.

En el gráfico de velocidades autorizadas de la figura 3 A, cuyos datos no puede asegurar el autor que sean actualizados en Febrero 2007, se observa la limitación a 80 km/h por la cerrada curva de entrada a Puertollano y que el tren sólo está autorizado a circular a 300 km/h en la recta de 8.59 km del pk 103.4,

en las cercanías de Urda. Pese a que hay otra recta de 12.1 km en el pk 447.8 el tren circula en ella a 250 km/h, sin duda por tener ya que frenar enseguida para entrar en Sevilla por la vía II, aunque el autor no sabe el motivo por el que no tiene mayor velocidad autorizada en la otra vía el tren que sale hacia Madrid. En el gráfico de velocidades medidas a bordo con GPS por el autor (figura 3B) se comprueban estos datos. En cualquier caso se ve inmediatamente que el AVE de Sevilla no es un trazado de Alta Velocidad como entendemos hoy, 20 años después de la decisión de construirlo. Esta magnífica línea, que como decimos salvó al ferrocarril español de una muerte segura, se decidió que fuera de Alta Velocidad y en ancho UIC en el Consejo de Ministros del 9 de Diciembre de 1988. Tres años y 4 meses después, los 471 km de la línea fueron puestos en servicio el 20 de abril de 1992, con sus nuevos trenes y su excelente señalización LZB que como hoy vemos le permite circular hasta a 300 km/h. Este ferrocarril es hoy un orgullo para todos los Ingenieros de Caminos españoles, y aunque el tren tarde entre Madrid y Sevilla 1 hora más de lo que tardaría con un trazado mejor y una buena vía, ningún Ingeniero de Caminos lo critica en absoluto. Los 471 km a 300 km/h sin paradas debían recorrerse en 1h44m, mientras que el tren tarda hoy 2h20m.

Desde Madrid hasta Puertollano el terreno es llano, sólo existe el falso túnel de Getafe. El cruce de Sierra Morena entre Puertollano y Córdoba se hace con 15 cortos túneles y sigue el trazado de la figura 4.

Fig. 4. Planta del tramo Ciudad Real-Puertollano-Córdoba del AVE de Sevilla de 1988. Cruce de Sierra Morena. Una posible alternativa, hoy, sería la recta marcada en azul.



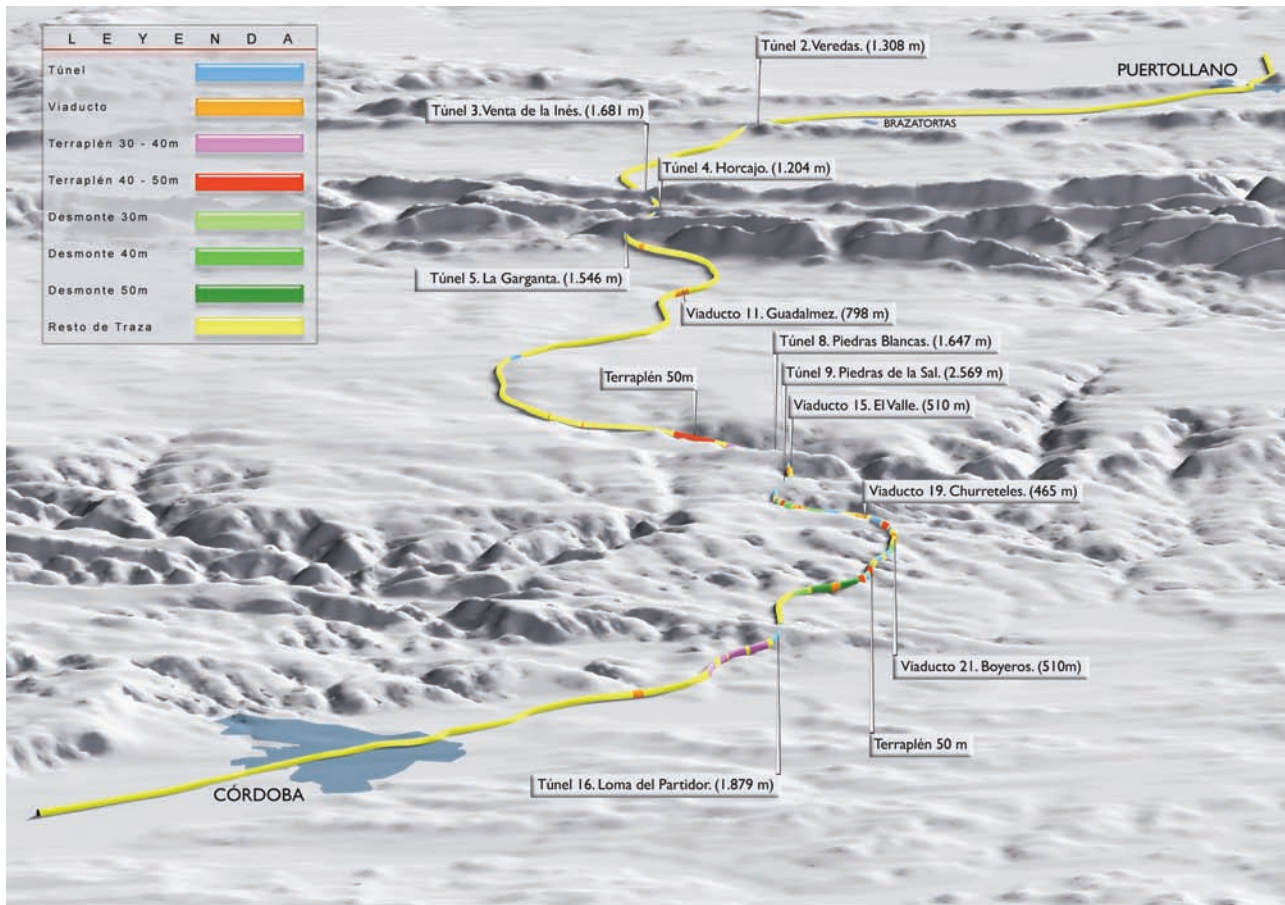


Fig. 5. Modelo digital del tramo Puertollano-Córdoba, cruce de Sierra Morena del AVE de Sevilla de 1988.

La cota de Puertollano (pk 212.3) es la +700, y la de Córdoba (pk 322.7) +100. En bajar estos 600 m el desarrollo del eje es de 110.4 km, lo que lleva a una pendiente media de 4.49 ‰. Para la distancia a vuelo de pájaro, aproximadamente 103 km, la pendiente media es de 5.4‰. Puede observarse cómo se eligió el trazado (línea fina azul de la fig.4) para que el número y la longitud de los túneles fuera el menor posible. El trazado entra desde Puertollano en dirección Oeste en el paso estrecho de la Sierra del Torozo en Brazatortas, cruza la sierra de Alcudia con el túnel nº 2 en Veredas y gira hacia el sur para atravesar la sierra de la Umbría de Alcudia con los túneles 3-Venta La Inés, 4-Horcajo y 5-La Garganta (pk 253.5) en Sierra Madrona. Tras cruzar el Guadalmaz en el pk 264, cruza el túnel 6-Los Caños en el pk 277 junto a Villanueva, y a continuación el 7-Valle pk 294, 8-Piedras Blancas, pk 295, 9-Piedras de la Sal, pk 298-300, el más largo del tramo con 2569 m, 10 y 11-Churreteles Altos y Bajos, pk 303 a 305, 12-Escribano, pk 306, 13-Acebuchoso, pk 309, 14-Piedras del Aire, pk 310, 15-Cortijo pk 312 junto a Adamuz y 16-Loma del Partidor, pk 320 de donde

bordeando el embalse de San Rafael de Navallana cruza el Gudalmellato y llega a Alcolea en el pk 332 y a Córdoba en el pk 341. La descripción de la época (Ref.8) decía que la línea se diseñó para tráfico mixto de viajeros y mercancías y que la velocidad de diseño era superior a 250 km/h, por lo que las curvas son "de gran radio (> 3.200 m) aunque excepcionalmente y por razones de economía se ha llegado a utilizar un

Fig. 6. Perfil longitudinal del tramo Ciudad Real-Puertollano-Córdoba del AVE de Sevilla de 1988. Cruce de Sierra Morena. Una posible alternativa, hoy, 20 años después, se indica en azul. El lector Ingeniero de Caminos puede decidir otras muchas.

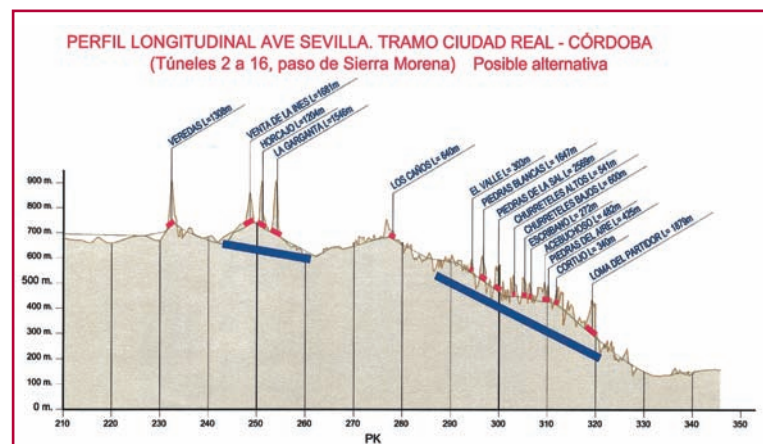




Fig. 7 A (izquierda) P.K. 309,6 Vista hacia el sur. Encima de la boquilla sur del túnel del Acebuchoso y norte del Piedras del Aire. A continuación Viaducto de La Parrilla. Al fondo boquilla norte del túnel del Cortijo (Fotos de la Ref.2).



Fig. 7B (derecha) P.K. 324,1. Vista hacia el norte. Terraplenes entre los PK. 321,2 y 324,2. Al fondo boca sur del túnel Lomas del Partidor.

Tabla 3. Elementos del trazado de la figura 7 a, de norte a sur

PK Inicio		Altura m	Radio m	Velocidad autorizada km/h
309,623.00	Tunel 13 Acebuchoso (S)		2.300	215
309,623.00	Desmante	20.0	2.300	215
309,873.00	Tunel 14 Piedras del Aire (N)		2.300	215
310,298.00	Tunel 14 Piedras del Aire (S)		2.300	215
310,298.00	Desmante	15.0	2.300	215
310,347.50	Viaducto 22 La Parrilla (265m)		2.300	215
310,714.00	Terraplén	15.0	2.300	215
310,785.00	Desmante	50.0		215
311,170.00	Terraplén	50.0	2.300	215
311,563.00	Terraplén	50.0	2.300	215
311,840.00	Desmante	20.0	2.300	215
311,875.00	Desmante	20.0	2.300	215
311,924.00	Tunel 15 Cortijo (N)		2.300	215

radio de 2.300 m en el tramo más accidentado, lo que reduce la velocidad en ese tramo a 215 km/h. En alzado la pendiente máxima utilizada ha sido de 12.5 milésimas, valor determinado por el tráfico de trenes de mercancías". El modelo digital del cruce de Sierra Morena da la perspectiva de la figura 5.

Un ejercicio clásico de trazado ferroviario en los Cursos de Doctorado de la Escuela de Caminos de Madrid consiste en encajar un trazado alternativo a este del AVE en este tramo, y los alumnos encuentran sin dificultad soluciones sencillas de radios 10.000 y superiores, prácticamente sin peraltes y que en consecuencia hubieran permitido el paso de los trenes lentos de mercancías sin daño a la vía.

El lector puede ver cómo el trazado, si bien aceptable para su época, ha quedado muy anticuado 20 años después cuando los trenes que salen de factoría ya superan los 405 km/h y cuando ya se conoce el

Tabla 4. Elementos del trazado de la figura 7b, de sur a norte

PK Inicio		Altura m	Radio m	Velocidad autorizada km/h
324,550.00	Terraplén	30.0	3.200	250
324,460.00	Desmante	15.0	3.200	250
324,200.00	Terraplén	35.0	3.200	250
323,750.00	Desmante	20.0	3.200	250
323,290.00	Terraplén	30.0	3.200	250
323,200.00	Desmante	20.0	3.200	250
322,380.00	Terraplén	30.0	3.200	250
322,220.00	Desmante	20.0	3.200	250
321,395.00	Terraplén	35.0	3.200	250
321,097.00	Tunel 16 Lomas del Partidor		3.200	250

problema del vuelo del balasto o schotterflug y los terribles efectos de los terraplenes. En ambas fotografías puede verse cómo hoy una solución alternativa sería bajar la rasante algunas decenas de metros y sustituir esa sucesión de altos terraplenes, altos viaductos y cortos túneles manuales por una solución más efectiva que permitiera circular al tren en todo el trayecto a su velocidad de 350 o 400 km/h, lo que supondría un tiempo de viaje Madrid-Sevilla, sin paradas, inferior a 1h:20m o 1h:10m respectivamente.

Este trazado ya no tiene solución, el viejo tren AVE 100 de motores síncronos jamás podrá ir a su velocidad de diseño de 300 km/h salvo en la recta del pk.103, porque los radios se lo impiden. El autor opina que en muy breve plazo los descensos de los terraplenes y la degradación del balasto obligarán a su sustitución completa, al igual que ocurrió en los tramos París-Lyon y Tokio-Osaka a los 14 años de servicio. En estos 15 años de servicio de Sevilla muchos postes de catenaria han bajado ya tanto que no pueden subirse más los brazos soportes del hilo y habrá que recrecerlos, como pasó también en los tramos citados. Pero ningún Ingeniero de Caminos critica el AVE de Sevilla, que fue una excelente obra magníficamente construida y puesta en servicio y que cambió en 1988-92, como decimos, el futuro del ferrocarril español. Sí que criticamos sin embargo los Profesores de Ferrocarriles y muchos Ingenieros de Caminos que en los siguientes proyectos de Alta Velocidad no se hayan tenido en cuenta las experiencias de Sevilla, que no los hayan construido o al menos asesorado los Ingenieros que construyeron Sevilla, que no se haya estudiado el grave problema de los terraplenes y que el concepto global de los trazados seleccionados en los Estudios Informativos posteriores haya sido, en opinión del autor y como muestra hoy la dura realidad, sustancialmente peor.

Para conocer el estado de la vía y los movimientos del tren ya no es necesario disponer de un tren auscultador de 6 u 8 millones de euros. Hoy es muy sencillo para cualquier persona interesada medir las aceleraciones horizontales y verticales recibidas en caja de pasajeros de un tren. Como muestra la figura 8 ello puede hacerse simplemente conectando un acelerómetro horizontal y otro vertical a un portátil con una tarjeta Labview. La posición y velocidad del tren en cada momento se obtienen conectando uno o dos GPS. En el Curso de Doctorado "Trazado y Túneles en Alta Velocidad" que el autor imparte en la ETS de Ca-

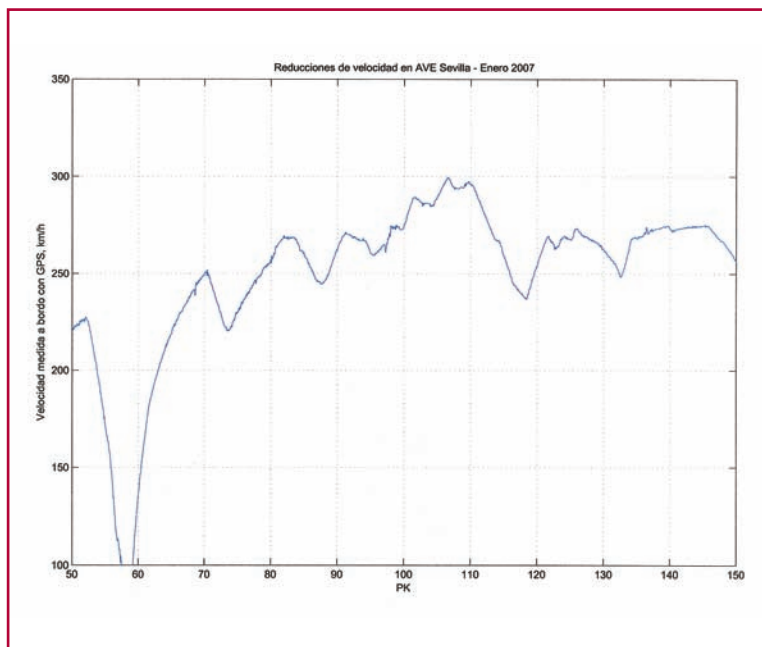


Fig 8. Medida de aceleraciones y velocidad a bordo del tren con acelerómetros y GPS (foto MMM).

minos de la Universidad Politécnica de Madrid uno de los ejercicios consiste en realizar estas medidas en los AVE de Sevilla y Zaragoza y analizar los resultados obtenidos.

Las medidas que se resumen y presentan al lector aquí se han realizado con un acelerómetro piezoeléctrico vertical Brüel & Kjaer de la serie 4508 y otro capacitivo de la serie 3700 de PCB Piezotronics, conectados ambos a un acondicionador de señal modelo 478-A-05 de este fabricante. Los GPS utilizados para la medida de velocidad y posición son SiRF Star III modelo HI-406BT-C. Las señales analógicas de los sensores se

Fig 9 A. Reducciones de velocidad en la vía de Sevilla, pk 50 a 150, 20 Enero 2007.



han recogido y digitalizado con un DCA (digital-analog converter) de la tarjeta PCMCIA de National Instruments, y la captura de las señales y su paso a los ficheros de lectura se ha hecho por medio del conocido Labview. En las figuras que se presentan al lector en este trabajo la frecuencia de muestreo ha sido de 1kHz, lo que a 250 km/h (69.4 m/s) supone una lectura cada 7 cm de vía. Las medidas se han repetido tres veces en días distintos, y el proceso y análisis de los datos se ha hecho con Matlab. En las figuras el autor dibuja siempre para el lector la señal bruta sin filtrar, salvo los filtros internos de cada sensor.

El efecto nocivo de los terraplenes y rellenos en la Alta Velocidad en que tanto insiste el autor –sin ningún éxito hasta ahora, todo sea dicho– puede verse muy bien analizando las precauciones de esta línea medidas el día 20 de enero de 2007 en uno de los ejercicios de Doctorado citados. Las figuras 9 A, B, C y D muestran con algún detalle las reducciones de velocidad en el recorrido Madrid-Córdoba. Desde el pk 20 el tren está autorizado a circular a 270 km/h, y se observa hoy una limitación temporal a 70 km/h en la salida del ramal a Toledo en el pk 58, debida a la rotura de un muro de tierra armada (Ref.9), reducción que tiene lugar en la zona de los terraplenes instrumentados de 10 y 18 m de altura de los pk 56 y 62. Aparece otra precaución en los pk 73-74, con radios 4.000 m, por los terraplenes de 3 y 4 m de altura en vía 1 y 7 m en vía 2, donde se realizaron las medidas, y otra en los pk 87-88, en recta, con un terraplén de 8 m. Sube la velocidad autorizada a 290 km/h en el pk 99, y a los 300 km/h en la recta del pk 103 y a partir del pk 115 la velocidad autorizada vuelve a 270 km/h. Aparece otra precaución a 230 km/h en el pk 118, en recta, con un terraplén de 5 m y otra a 245 km/h en los pk 132-133 con radios 4.000 m y terraplenes de 5 m. La reducción del pk 170 es el paso por Ciudad Real, y la del pk 210 es el famoso paso por Puertollano que se decidió a última hora y donde hubo que meter radios de 800 m y 335 m, y la velocidad baja a 70 km/h. Hay otra reducción en el pk 230-232 en un tramo recto sin terraplenes y otra en el pk 242 con radio 3.200 en un terraplén de 10 m de altura. En el pk 253 la velocidad sube puntualmente a 285 km/h, lo que el autor no sabe explicar, y en la zona del el pk 272 baja a 215 km/h en una curva de radio 2.300 m en un terraplén de 10 m de altura. En el pk 282 entra en la zona de radios 2.300 m donde la velocidad autorizada es de 215 km/h y comienza a circular a 210 km/h. En la Tabla 4 de la primera parte de este trabajo (Ref.10) puede

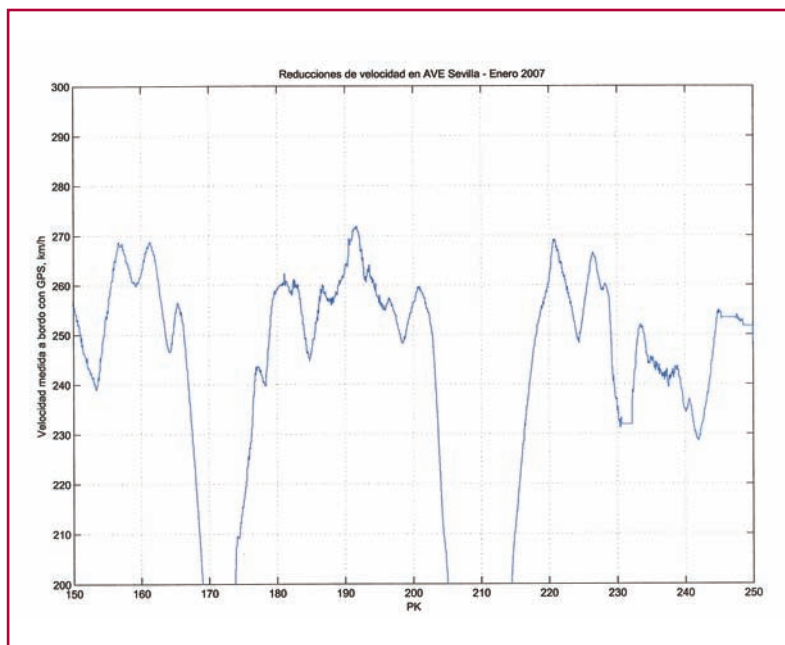
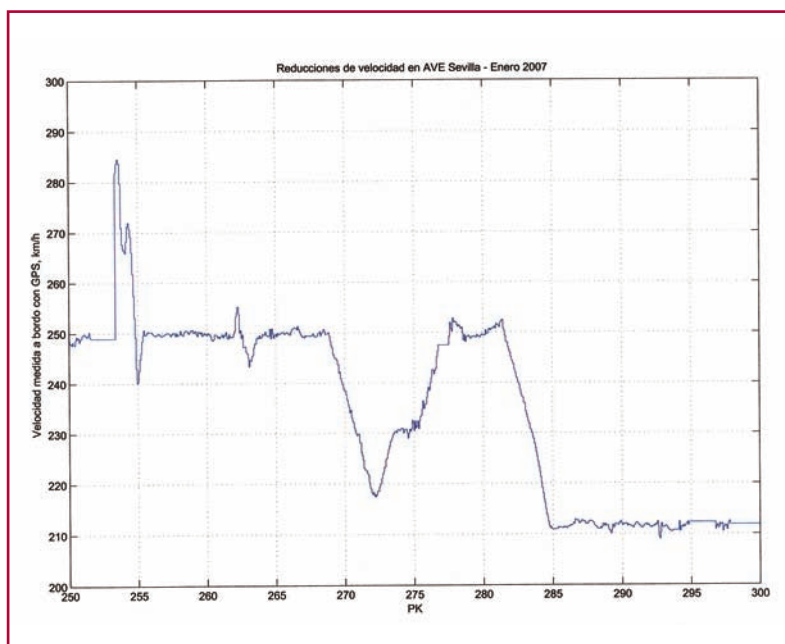


Fig 9 B. Reducciones de velocidad en la vía de Sevilla, pk 150 a 250, 20 Enero 2007. .

verse que en las zonas de los terraplenes más problemáticos del trazado la velocidad autorizada no supera los 215 km/h.

Como se ha dicho el primer túnel del cruce de Sierra Morena es el nº 2, Veredas en el pk 231, y termina el cruce de la sierra con el túnel nº 16, Lomas del Partidor, en el pk 321, a 20 km de Córdoba. Del pk 230 al 285 la velocidad máxima autorizada es de 250 km/h y pueden verse en las figuras 9 B y C las reducciones que

Fig. 9 C. Reducciones de velocidad en la vía de Sevilla, pk 250 a 300, 20 Enero 2007.





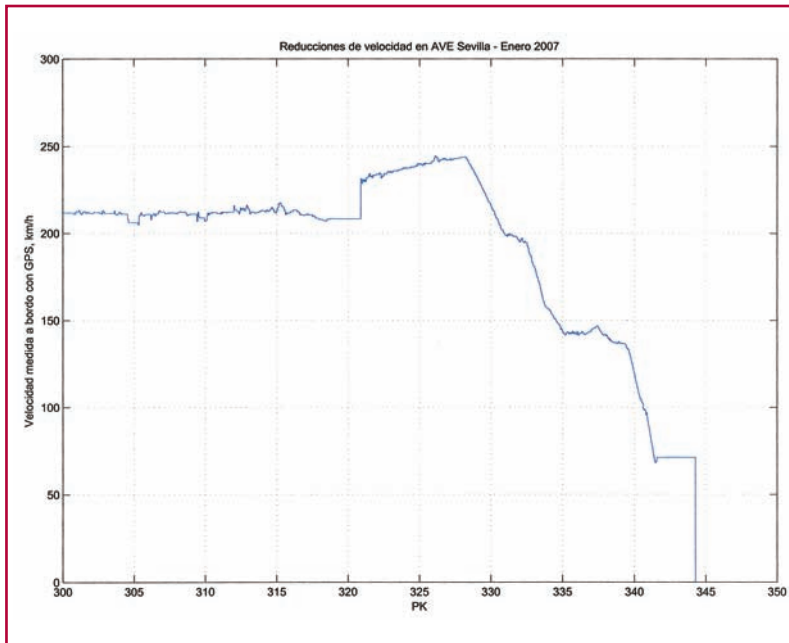


Fig. 9 D. Reducciones de velocidad en la vía de Sevilla, pk 300 a 350, 20 Enero 2007.

existen. Finalmente la velocidad baja a 215 km/h del pk 285 al 316, un poco antes del último túnel del paso.

## 2. El Ave de Zaragoza-Lérida-Barcelona-Frontera

La vía antigua de RENFE Madrid-Zaragoza-Lérida, que ha estado en servicio hasta 2003, fue construida en las fechas indicadas en la tabla 5.

Fig 10. Planta de los FFCC Madrid-Barcelona, con el AVE Madrid-Lérida. En azul, la nueva línea AVE.

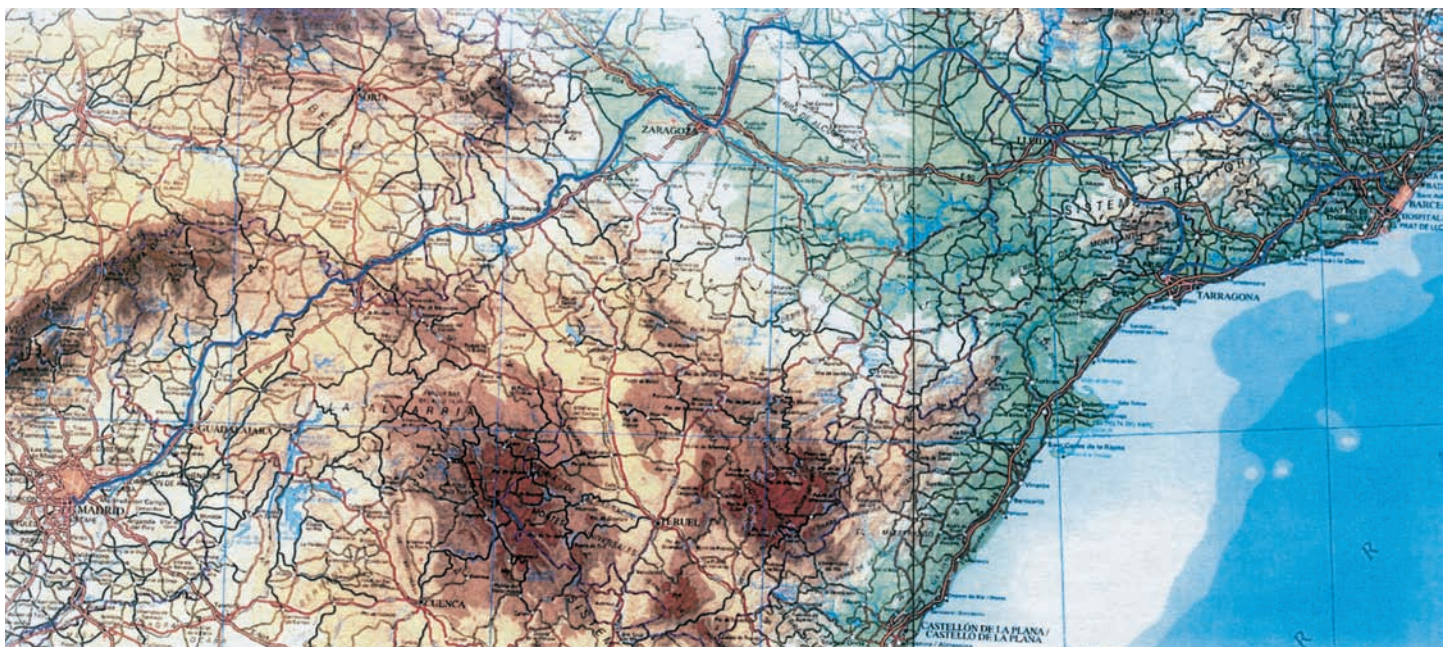


Tabla 5. Fechas de construcción de los distintos tramos de la línea Madrid-Zaragoza

Tramo	Km	Fecha
Madrid-Guadalajara	56.83	3-may-1859
Guadalajara-Jadraque	43.38	5-oct-1860
Jadraque-Medinaceli	61.76	2-jul-1862
Medinaceli-Alhama	53.39	4-feb-1863
Alhama-Grisén	96.29	25-may-1863
Grisén-Casetas	13.13	10-ago-1864
Casetas-Zaragoza	13.06	1-oct-1864
<b>Total Madrid-Zaragoza</b>	<b>337.83</b>	
Variante de Alcuneza-Salinas (nuevo túnel Torralba) Para eliminar el retroceso existente en la vía de Soria	15.53	4-jul-1959
<b>Zaragoza-Lérida</b>	<b>183.67</b>	<b>18-sep-1861</b>

La planta del ferrocarril antiguo (negro) y la nueva línea AVE (azul) entre Madrid y Barcelona es la indicada en la figura 10.

El trazado en planta de la nueva línea AVE Madrid-Zaragoza-Barcelona es naturalmente mucho más amplio que el del AVE de Sevilla, con radios mínimos mucho mayores. Entre Madrid y Lérida hay 91 curvas circulares, cuyos radios son los indicados en la figura 11.

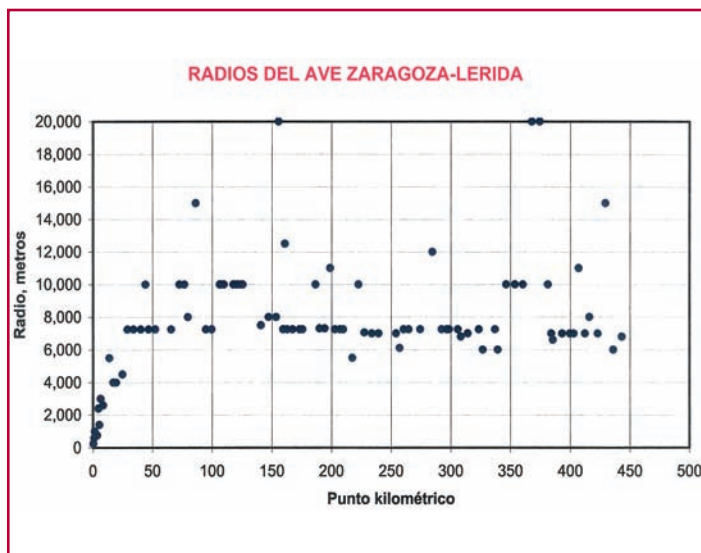


Fig. 11. Radios del AVE Madrid-Lérida.

Con radios mayores de 20.000 m sólo hay dos curvas, una de radio 30.000 m en el pk 369.68 de 1.165 m de longitud y otra de 32.440 m en el pk 425.12 de 1.756 m de longitud. Como puede verse el radio dominante es el de 7.000 m (10 curvas incluyendo el radio 7.050 del pk 227.56, con longitud circular total de 23.1 km) y el de 7.250 m (27 curvas con longitud total de 65.9 km). La distribución es la indicada en la tabla 6.

Hay 10 rectas de más de 5 km, de las que 3 tienen más de 10 km (Tabla 7).

Las velocidades medidas con GPS a bordo el día 24 de Enero de 2007 son las indicadas en la figura 12. Además de las paradas en Guadalajara, Calatayud y Zaragoza en el gráfico pueden observarse las distintas precauciones o reducciones de velocidad en los pk 22 (207 km/h), 46 (213 km/h), 88 (250 km/h), 153 y 170 (250 km/h), y la del famoso terraplén de la bóveda triarticulada del pk.188 (250 km/h). Entre Guadalajara y Calatayud el tren llega a alcanzar los 280 km/h, pero a trozos, con las numerosas precauciones que pueden verse en la figura. Desde Calatayud hasta Lérida sólo está autorizado a 250 km/h, pero también con las numerosas precauciones que pueden verse. En todo el tramo entre Calatayud y Zaragoza la velocidad se limita a 250 km/h con la precaución a 230 km/h del pk 242. Estas reducciones de velocidad podrían deberse respectivamente a los descensos de los terraplenes del pk 23.5 de 11 m de altura, del pk 46 de 6 m de altura sobre suelos blandos, del pk 88 de

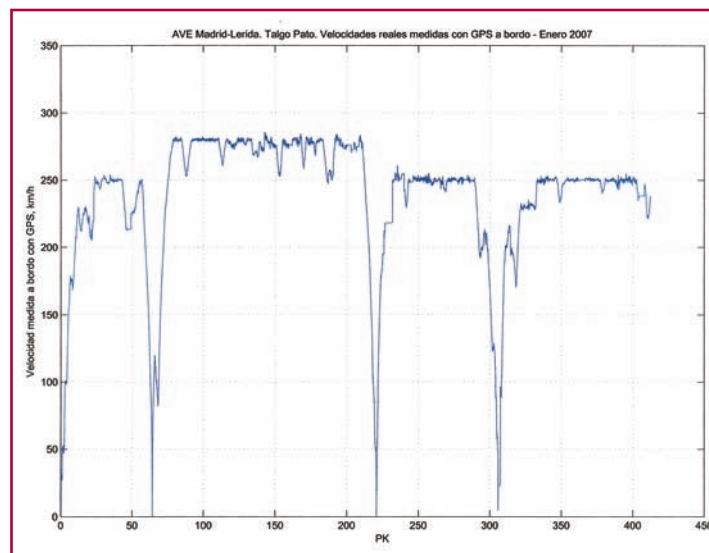


Fig 12. Velocidades medidas a bordo en el AVE Madrid-Zaragoza-Lérida. En el gráfico no aparece la parada de Lérida por la necesidad de desmontar los acelerómetros y GPS un poco antes de llegar.

80 m de longitud, del pk 153 de 5 m de altura, del pk 170 de 280 m de longitud y 16 m de altura, y del pk 188 de 790 m de longitud y 17 m de altura (llamado "el hoyo" por los conductores de la línea). En el famoso tramo de Zaragoza a Lérida, con las conocidas cárcavas de los yesos y otros problemas de los que tanto se habló en su día, se observan las numerosas precauciones o reducciones de velocidad que ha sido necesario establecer sin que el tren pase hoy de 250 km/h. En este tramo hay 12 terraplenes de altura mayor de 20 m y alguno muy largo como el de 1.9 km del viaducto del Cinca en el pk 408 que parece observarse en el gráfico o el de 1.3 km en el pk 424. Hay

Tabla 6. Resumen del trazado en planta del AVE Madrid-Lérida			
Radio m	Número	Longitud m	Peralte mm
0-1.000	5	2,042.4	140-150
1.000-5.000	7	10,848.2	70-160
5.000-7.000	19	50,559.3	138-160
7.000-8.000	33	81,956.6	135-150
8.000-10.000	16	14,366.2	102-127
10.000-15.000	6	12,549.5	68-93
15.000-20.000	3	3,474.0	51-68
20.000-35.000	2	2,920.7	32-34
<b>Suma curvas</b>	<b>91</b>	<b>178,716.9</b>	
<b>Clotoides</b>	179	75,221.7	
<b>Rectas</b>	69	191,939.2	
<b>Longitud total, m</b>		<b>445,877.8</b>	

Tabla 7. Alineaciones rectas del AVE Madrid-Lérida	
PK	Longitud m
126.51	13,920.0
53.90	11,297.1
243.43	10,132.0
315.60	7,418.7
110.47	6,944.6
361.27	6,525.0
354.56	5,282.9
348.13	5,187.4
300.32	5,105.5
89.28	5,064.7



Fig 13. Longitudinal esquemático del AVE Madrid-Zaragoza. El autor ruega al lector perdon por si hay alguna inexactitud. Le ha sido imposible conseguir la información necesaria para ajustar todos los detalles.

además 19 terraplenes de entre 15 y 20 m de altura, también muy largos como el de 1.96 km del pk 413 que también se adivina en el diagrama o el de 1.4 km del pk 332, hasta pasado el cual parece que el tren no puede subir a los 250 km/h. Y en el tramo de 250 km/h aparecen los terraplenes sobre suelos blandos del pk 347, de 8 y 10 m de altura, cuya reducción a 235 km/h puede verse en el gráfico. En el tramo de velocidad 230 km/h se encuentran los 3 viaductos de los pk 321.8, 325.9 y 330.6 con sus respectivas cuñas de transición o bloques técnicos. Y la reducción de velocidad a 170 km/h del pk 318 puede deberse a los 3 terraplenes de 250 m de longitud total de la zona, de 8 a 10 m de altura. Pero el autor no puede asegurar ninguna de estas hipótesis al lector Ingeniero de Caminos, porque no existe ninguna publicación ni documento ni la más mínima información del Ministerio, y naturalmente los pk del gráfico se han obtenido a partir de las velocidades y tiempos medidos con el pc y los GPS y por tanto, aunque su concordancia es sorprendentemente buena con el campo y las paradas, pueden tener algunos pequeños desfases. El problema de los terraplenes y el análisis de las aceleraciones verticales que el tren sufre en ellos y en las cuñas de transición está siendo objeto de estudios y análisis detallados en la Cátedra que el autor dirige, y que se publicarán en su momento.

La figura 13 muestra el perfil longitudinal esquemático del AVE Madrid-Zaragoza-Llerida y en ella se indican los 26 túneles construidos (el nº 26 es el falso túnel de entrada en Llerida).

El trazado del AVE va subiendo desde la cota 600 en Torres de la Alameda, pk 35.0 aproximadamente, hasta la cota 1.200 en Medinaceli en el pk aproximado 152.5 con una rampa media de subida de 5.2 milésimas. Desde ese punto comienza a bajar hasta Calatayud a la cota 533 en el pk 221 con una pendiente media de 9.3 milésimas y a continuación a Zaragoza a la cota 300 en el pk 310. Al igual que la vía antigua de RENFE, todo el tramo del Henares tiene menos pendiente que el del Jalón. Recordarán los lectores Ingenieros de Caminos cómo los llorados Profs. D. Clemente Sáenz, el padre a los más mayores como el autor, y el hijo que acaba de fallecer a los compañeros más jóvenes, nos recordaban en clase que el Jalón es un río que devorará al Henares, porque llegará a erosionar el terreno de forma que las aguas del nacimiento del Henares en Horna, junto al túnel de Torralba en la vía vieja, acabarán yendo hacia el Este uniéndose a las del Jalón. Mientras que en la vía antigua el trazado sigue el Henares hasta su nacimiento y atraviesa la divisoria por Horna con el túnel de Torralba para seguir después el curso del Jalón hasta Zaragoza, en la vía del AVE los túneles es-

Tabla 8. Túneles de la línea AVE Madrid-Lérida

	Túneles Madrid-Lérida	PK	Long (m)
1	CAÑADA REAL GALIANA	21,36	321
2	RIVAS	22,92	639
3	MEJORADA	29,83	796
4	SAN FERNANDO	34,39	492
5	ANCHUELO	47,43	867
6	SANTORCAZ	48,60	1,205
7	SANTOS DE LA HUMOSA	53,74	77
8	SAGIDES	160,83	1,809
9	ALHAMA	198,66	631
10	BUBIERCA	201,91	2,433
11	LAS DEHESILLAS	203,86	861
12	CASTEJÓN	204,85	390
13	ATECA	206,75	466
14	LA ALMUNIA	207,80	1,014
15	MARIVELLA	225,98	623
16	PARACUELLOS	229,66	4,783
17	SABIÑÁN	235,83	554
18	PURROY	237,89	847
19	LAS MINAS	239,19	340
20	VILLANUEVA DEL JALÓN	240,23	1,043
21	TORRECILLA	246,17	917
22	LOS CORTADOS	247,81	359
23	LAS CALESAS	250,20	126
24	TENOR FLETA (Zaragoza)	309,27	3,984
25	LAS HECHICERAS	405,06	2,930

tán situados como puede verse en la subida y la bajada, en esta última en el tramo Calatayud-Ricla. Los túneles y viaductos del tramo Madrid-Lérida son los indicados en la tablas 8 y 9, donde no se incluyen los numerosos puentes y pasos menores.

Un ejemplo de un trazado alternativo que el autor considera muy esclarecedor para el lector Ingeniero de Caminos es el tramo entre Calatayud, pk 221, y Ricla (La Almunia de Dª Godina), pk 251. La vía vieja este tramo, de una enorme belleza natural en el valle del Jalón, es de vía única y ha sido el último estrangulamiento que quedaba en la relación Madrid-Barcelona. Los túneles de este tramo son los indicados en la Tabla 10.

El proyecto del AVE Madrid-Zaragoza comenzó en este tramo, que se licitó en el BOE del 24 Noviembre 1993. La obra -que se proyectó para 350 km/h pero donde el tren más rápido no supera hoy los 280 km/h- fué inaugurada 10 años después, el 10 de Octubre de 2003, poniéndose en servicio comercial provisionalmente a 200 km/h el día siguiente con dos viejas ramas

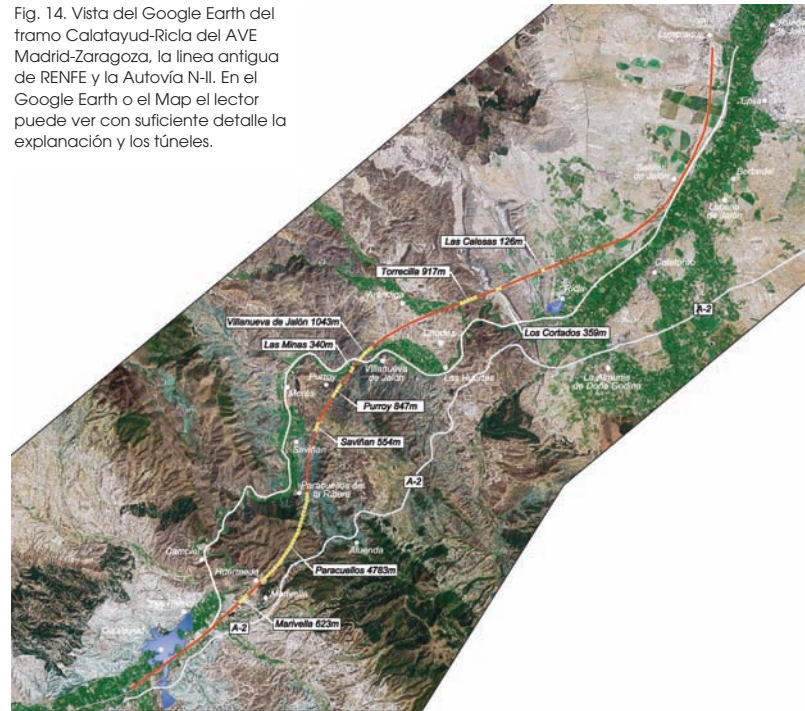
Tabla 9. Viaductos de la línea AVE Madrid-Lérida (no incluidos puentes ni pasos)

	Viaductos Madrid-Lérida	PK	Long (m)	Altura max (m)
1	STA. CATALINA	5,200	520	Sin datos
2	M - 40	6,014	131	Sin datos
3	COLADA DEL SANTÍSIMO	18,794	539	Sin datos
4	RIO JARAMA	24,716	2,216	Sin datos
5	TORRES DE LA ALAMEDA	38,309	441	Sin datos
6	ARROYO DE ANCHUELO	46,526	748	Sin datos
7	ARROYO VALDERACHA	49,767	552	Sin datos
8	BARRANCO DEL TEJAR	121,045	255	Sin datos
9	ARROYO DE PRADILLOS	139,591	254	Sin datos
10	RIO BENAMIRA	148,673	224	Sin datos
11	RIO BLANCO	156,754	557	Sin datos
12	EL CHAPARRAL	162,328	211	Sin datos
13	ARROYO DE SAGIDES	162,773	514	Sin datos
14	ARROYO DE LA LESILLA	163,574	253	Sin datos
15	ARROYO DE VALZARZO	165,027	308	Sin datos
16	ARROYO DE CHAORNA	168,063	452	Sin datos
17	BARRANCO HAZA DEL CONEJO	176,482	350	Sin datos
18	BARRANCO DE COVALANA	183,692	390	Sin datos
19	BARRANCO DE S LORENZO	191,386	343	Sin datos
20	BARRANCO DE FUENTELICES	199,627	920	Sin datos
21	EL CHORRO	203,284	269	Sin datos
22	RIO PIEDRA	206,236	486	Sin datos
23	RIO JALÓN	210,157	2,266	Sin datos
24	BARRANCO DEL VAL	232,254	399	Sin datos
25	VILLANUEVA DEL JALÓN	239,542	249	Sin datos
26	RIO ARANDA	245,565	297	Sin datos
27	PLASENCIA DEL JALÓN	277,224	1,283	Sin datos
28	RIO HUERVA (Zaragoza)	304,148	1,123	Sin datos
29	VAL DE VARES	321,664	219	Sin datos
30	VALDIPUEY	325,874	126	Sin datos
31	RIO GINEL	329,954	1,227	Sin datos
32	RIO EBRO	337,551	557	Sin datos
33	AGUILAR DE EBRO	338,478	348	Sin datos
34	VAL DE CASTEJÓN	381,965	445	Sin datos
35	VAL DE CABRERA	384,075	375	Sin datos
36	VAL DE LADRONES	385,882	410	Sin datos
37	VAL DEL LUGAR	400,879	273	Sin datos
38	CINCA	407,296	841	Sin datos
39	CLAMOR	415,355	447	Sin datos
40	VAL DEL GALLO	423,268	357	Sin datos

Tabla 10. Túneles del tramo Calatayud-Ricla en la red antigua, abiertos el 25 de Mayo de 1863

FFCC Madrid- Zaragoza. Túneles Vía Renfe Antigua				
Num		Nombre	PK Entrada	Long. m
16	1	Anchada	249,409	400
17	2	Ribota	250,050	797
18	3	La Planilla	251,599	214
19	4	Zabalo	252,730	115
20	5	Los Santos	253,456	106
21	6	San José	254,010	104
22	7	Embid	254,364	371
23	8	Villanueva	268,353	177
24	9	Peña de la Viuda	275,285	128
25	10	Estrechuelo	276,350	726
26	11	Arapiel	278,152	144

Fig. 14. Vista del Google Earth del tramo Calatayud-Ricla del AVE Madrid-Zaragoza, la línea antigua de RENFE y la Autovía N-II. En el Google Earth o el Map el lector puede ver con suficiente detalle la explanación y los túneles.



AVE de Sevilla (Ref.11) y 8 trenes Altaria (coches Talgo tipo 2000 tirados por locomotoras 252 de la serie comprada también para el AVE de Sevilla). El perfil longitudinal y la planta de este tramo son los de la figura 14.

En la figura 15 se ha dibujado en rojo lo construido y hoy en servicio, pero parece evidente al autor

que una solución alternativa mucho mejor hubiese sido la dibujada en azul. Un único túnel bitubo de unos 25 km frente a los 9 cortos túneles monotubo de doble vía dibujados en rojo, que son los construidos. Mecanizando el único túnel y a los 550 m/mes de media de Guadarrama, todo el tramo se hubiera

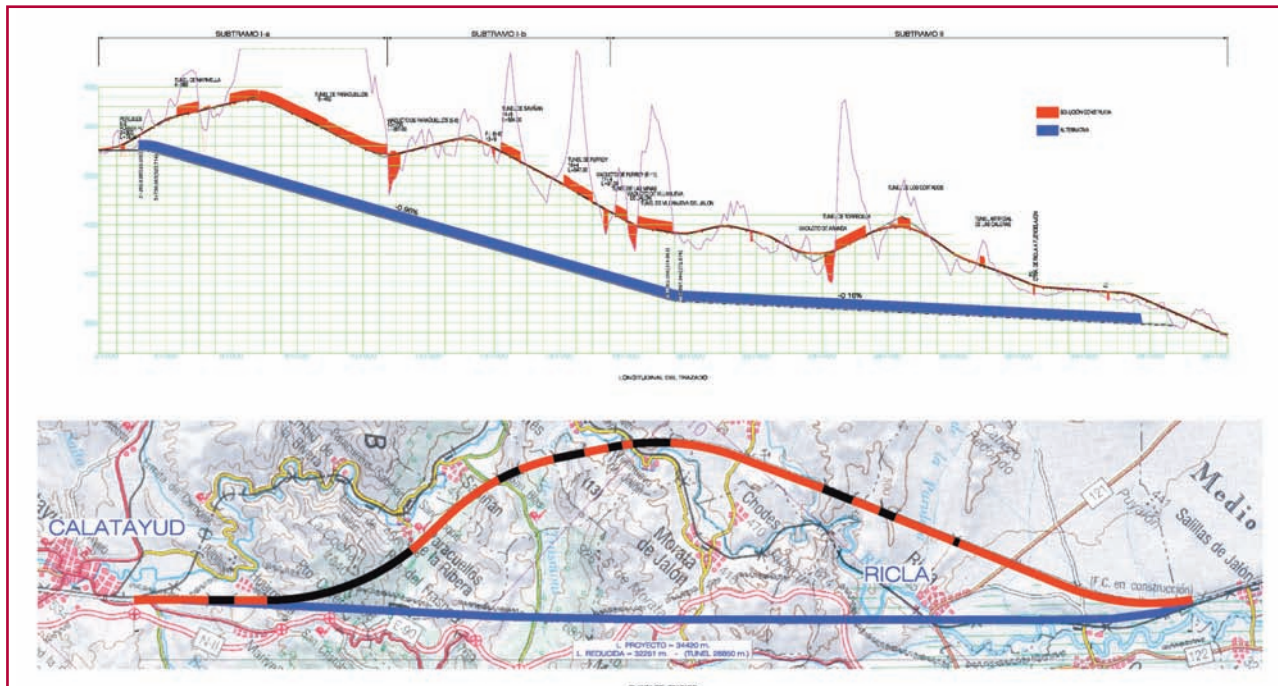


Fig. 15. Esquema del tramo Calatayuda-Ricla del AVE de Zaragoza (rojo) y de un posible trazado alternativo (azul).

**Tabla 11. Túneles del tramo Calatayud-Ricla en el AVE de Zaragoza**

	PK	Túnel	Long. m
15	225.7	Marivella	578
16	229.7	Paracuellos	4,636
17	235.7	Saviñán	515
18	237.8	Purroy	806
19	239.1	Las Minas	290
20	240.6	Villanueva	1,055
21	245.8	Torrecilla	900
22	247.7	Los Cortados	320
23	250.2	Las Caleras, Falso túnel	120

podido construir de forma sencilla en 27 meses, que con tuneladoras mejor preparadas podría rebajarse a unos 15 meses. Se hubiera evitado la construcción de los 9 túneles indicados en la tabla 11.

Se hubiera evitado también la construcción de los 4 viaductos de los pk 224.0, pk 232.5, pk 239.4 y pk 245.4 y de los 46 emboquilles y desmontes de la tabla 12 con una longitud total de 7.6 km y 5.3 millones de m<sup>3</sup> de excavación. Pero sobre todo se hubiera evitado la construcción de los 29 terraplenes de la tabla 13, que están causando gran parte de los problemas de la vía.

Estos terraplenes tienen una longitud total de 14.3 km y su volumen total de tierras es de 4.2 millones de m<sup>3</sup>. Hay además numerosos pasos inferiores, obras de drenaje y otras pequeñas estructuras que se hubieran evitado al construir la solución alternativa dibujada en azul, u otra similar. El lector Ingeniero de Caminos debe juzgar si la solución que se sugiere es más sencilla, rápida de construir, medioambientalmente menos agresiva y de menor coste que la que realmente se ha construido. Los terraplenes construidos no permiten circular al tren a su velocidad, pueden verse en los gráficos que siguen las grandes aceleraciones laterales que sufre el tren por los defectos de vía, mucho mayores que los de la vieja vía de Sevilla, y además impiden ya para siempre la colocación de la vía en placa y obligan a montar vía en balasto –salvo soluciones drásticas de rigidización de terraplenes y hormigonado de vía que tendremos que hacer en pocos años, y ya además con la vía en servicio. Naturalmente la vía tiene hoy una calidad inaceptable para una infraestructura de estas características y este historial.

**Tabla 12. Desmontes que se evitarían con la variante sugerida en el tramo Calatayud-Ricla en el AVE de Zaragoza**

Desmontes evitados con la variante					
PK	Longitud m	Altura m	PK	Longitud m	Altura m
223.7	235	15	238.3	260	10
224.6	430	20	239.0	70	23
225.2	452	39	239.0	Boquilla	25
225.7	Boquilla	12	239.3	Boquilla	35
226.3	Boquilla	18	239.4	70	24
226.4	35	11	239.7	40	15
226.7	30	2	239.8	Boquilla	30
227.1	200	14	240.7	Boquilla	30
227.3	Boquilla	14	240.8	100	40
232.0	Boquilla	12	242.2	880	31
232.7	250	23	243.6	80	5
232.9	320	35	244.1	100	12
233.3	240	30	244.2	280	36
234.2	750	42	244.7	340	29
235.2	130	15	245.3	40	10
235.5	40	30	245.7	Boquilla	20
235.6	Boquilla	15	246.6	Boquilla	27
236.1	Boquilla	25	246.7	200	31
236.1	195	30	247.3	330	30
237.1	120	7	247.7	Boquilla	30
237.2	265	25	247.9	Boquilla	25
237.5	Boquilla	25	248.0	590	37
238.3	Boquilla	15	250.0	705	23

**Tabla 13. Terraplenes que se evitarían con la variante sugerida en el tramo Calatayud-Ricla en el AVE de Zaragoza**

Terraplenes evitados con la variante					
PK	Longitud m	Altura m	PK	Longitud m	Altura m
223.9	75	6	238.8	240	25
224.0	525	11	240.8	40	4
225.0	240	3	240.9	1,400	40
226.3	320	22	243.1	50	8
226.7	430	11	243.2	390	22
232.4	200	35	243.6	400	26
232.9	30	5	244.1	30	3
233.2	20	11	244.4	400	32
233.5	100	15	245.4	440	23
233.6	640	35	246.8	500	22
234.9	310	45	248.6	1,460	20
235.3	220	30	250.7	1,090	15
236.3	750	18	251.8	2,250	15
237.2	70	4	254.1	1,515	12
238.5	170	25			

Lo mismo ocurre en la bajada desde el pk 195 hasta Calatayud, donde un túnel bitubo de unos 20 km podría haber sustituido los 5 túneles de Alhama, Bubberca, Las Dehesillas, Castejón, Ateca 1 y La Almunia y eliminado los 8 viaductos de San Lázaro, Fuentelices, Otero, Los Chorros, Piedra, los 2 del Jalón y el del Jiloca. Se hubieran eliminado también 42 desmontes, alguno de hasta 30 m de altura, y sobre todo 30 terraplenes, alguno de hasta 20 m de altura, como el del pk 194.3. En el momento de escribir estas líneas, Febrero 2007, el tren tarda en los 310 km de Madrid a Zaragoza, sin paradas, 1h:29m, y si la infraestructura y la señalización le permitieran desarrollar su velocidad de diseño tardaría unos 58m. Recuerde el lector que el contrato de la señalización del tramo se firmó el 3 Noviembre 2000 para el ERTMS, Niveles 1 y 2.

En el momento de escribir estas líneas se anuncia que el tren llegará a la estación de Sants en Barcelona en el 2007, pero el autor -que algunas infraestructuras ha construido durante su vida profesional - cree esto muy difícil, y de todo punto imposible que la estación de Sagrera esté lista antes del 2010. Y 14 años después de comenzar los trabajos, aún no hay fecha para la conexión con Francia. Los fondos disponibles para este importantísimo proyecto han sido ilimitados, sin ninguna restricción por Deuda como ocurre con otras Administraciones Autonómicas y Locales, y la Unión Europea ha aportado hasta hoy 3.516 millones de euros (Ref.12). La experiencia de este tramo ha sido muy mala para la Ingeniería de Caminos española y un simple repaso a las hemerotecas de los años 1999-2003 es suficiente para ver el grave desprestigio que ha supuesto para la profesión, aunque el autor opina que la mayoría de los Ingenieros de Caminos sabían y saben perfectamente lo que debía haberse hecho y cómo debía haberse hecho, sin que los responsables les hayan hecho ningún caso.

### Estudio comparativo de la calidad de las vías AVE de Sevilla y Zaragoza

La figura 16 muestra comparadas por tramos de 100 km las aceleraciones laterales medidas en caja de viajeros del mismo tren comercial Talgo 200 Altaria en las vías de Sevilla y de Zaragoza. Como se ha dicho, el análisis de detalle de estas señales digitales es

objeto de otros trabajos, pero una simple inspección visual basta al lector Ingeniero de Caminos para comprobar que la vía de Zaragoza, construida 12 años después de la de Sevilla, está hoy en un estado mucho peor que ésta. Además de con los trenes Altaria se han realizado las medidas de aceleraciones laterales y verticales en el tren AVE Alstom en la Vía de Sevilla, y en los dos tipos de trenes (Talgo Pato y Alvia) que circulan también por la de Zaragoza, y todas arrojan un estado de la vía de Zaragoza mucho peor que la de Sevilla. Según los datos de que dispone el autor (Ref.13), en el proyecto de la vía de Zaragoza se cambió el balasto con respecto al utilizado en la de Sevilla, colocando otro de mayor calidad, mucho menor desgaste de Los Angeles y menor módulo elástico. Se cambiaron también los pads o almohadillas elásticas bajo carril, sustituyendo los de Sevilla de una rigidez vertical de 500 kN/mm por otros 5 veces más elásticos, 100 kN/mm como indica la tabla 14.

La frecuencia propia del sistema eje montado-vía pasó así de 83 Hz a 49 Hz aproximadamente, con lo que el autor supone que se esperaba una mayor calidad de la vía. Pero esto parece haber sido al contrario, muy probablemente por el deficiente comportamiento de las obras de tierra. Cualquier observador que viaje en ambas vías nota inmediatamente que el tren se mueve mucho más en la de Zaragoza que es nueva que en la de Sevilla que tiene 15 años, y ello incluso con trenes nuevos frente a los viejos trenes AVE

Tabla 14. Rigideces verticales y frecuencias propias del sistema eje-vía en los AVE de Sevilla y Zaragoza

Tabla 14. Rigideces verticales y frecuencias propias del sistema eje-vía en los AVE de Sevilla y Zaragoza		
<b>Rigideces verticales</b>		
Rigidez pad Ave Sevilla	5.00E08 N/m	500 kN/mm
Rigidez pad Ave Zaragoza	1.00E08 N/m	100 kN/mm
Rigidez balasto corriente	4.00E07 N/m	40 kN/mm
Rigidez balasto AVE Sevilla	2.00E08 N/m	200 kN/mm
Rigidez balasto AVE Zaragoza	1.00E08 N/m	100 kN/mm
<b>Pad + balasto corriente</b>		
Pad + balasto corriente	3.40E07 N/m	34 kN/mm
Pad Sev + balasto Sevilla	1.43E08 N/m	143 kN/mm
Pad Zarag + balasto Zarag	5.00E07 N/m	50 kN/mm
Rigidez pad Metro	2.25E08 N/m	225 kN/mm
Rigidez corkelast	1.43E08 N/m	143 kN/mm
<b>Frecuencias propias</b>		
Frecuencia propia AVE Sevilla	83 Hz	
Frecuencia propia AVE Zaragoza	49 Hz	
Frecuencia propia pad y balasto corrientes	41 Hz	
Frecuencia propia pad y corkelast	63 Hz	

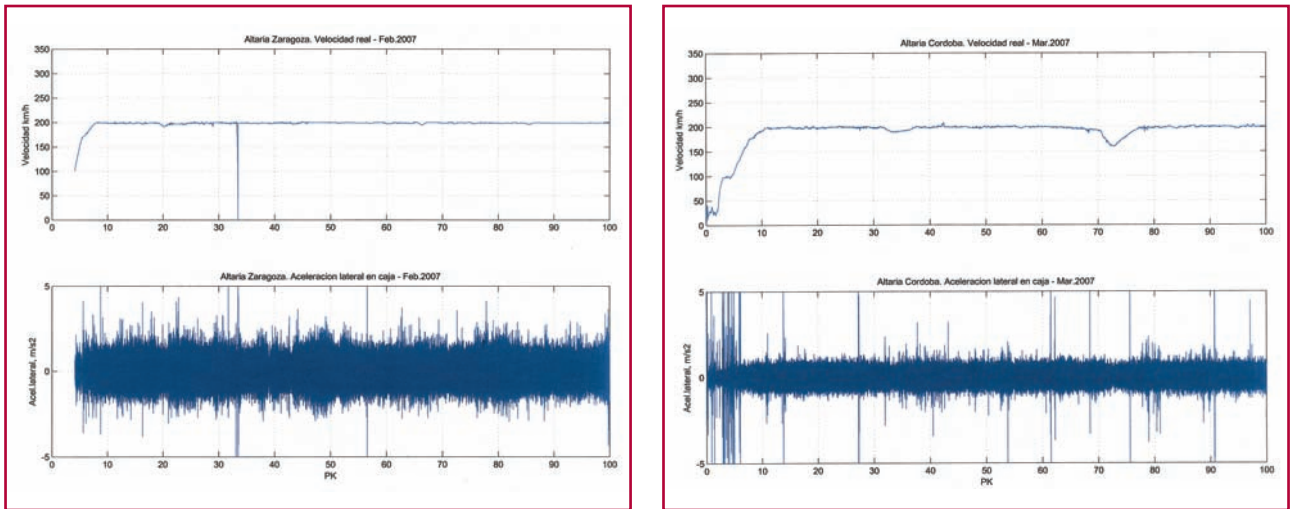


Fig. 16 A. Aceleración lateral medida en caja de viajeros. AVE de Sevilla y Zaragoza, pk 0-100.

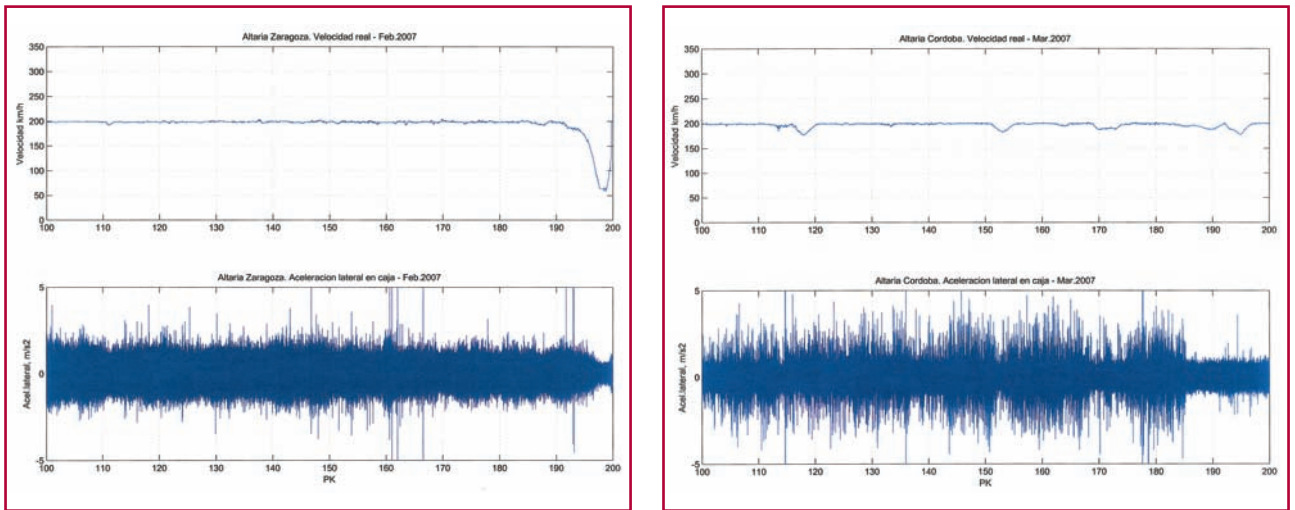


Fig. 16 B. Aceleración lateral medida en caja de viajeros. AVE de Sevilla y Zaragoza, pk 100-200.

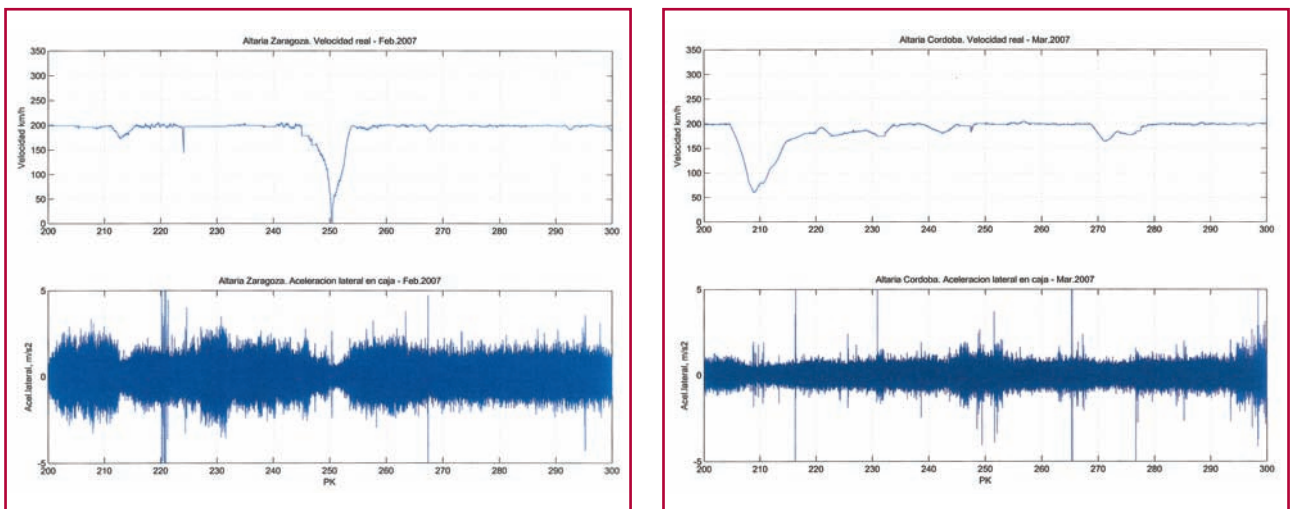


Fig. 16 C. Aceleración lateral medida en caja de viajeros. AVE de Sevilla y Zaragoza, pk 200-300. Obsérvese que los acelerómetros capacitivos miden también la aceleración sin compensar de las curvas.



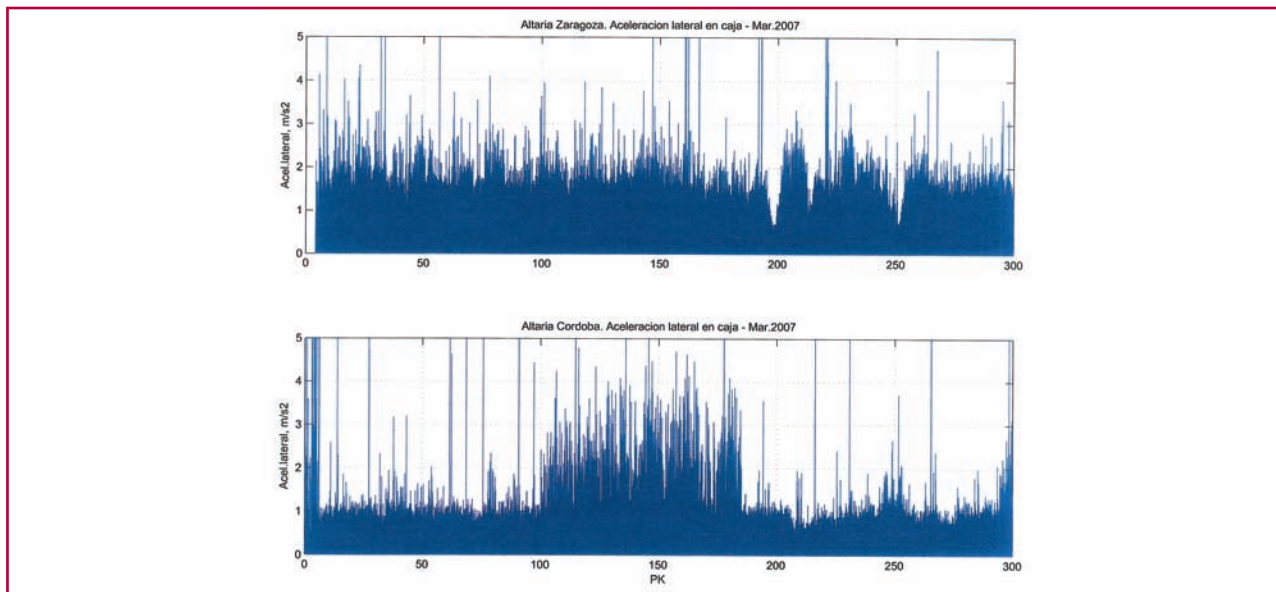


Fig. 17. Aceleraciones laterales medidas en caja en las vías de Sevilla y Zaragoza, 20 y 24 Enero 2007.

de 20 años de Sevilla. Si esta observación subjetiva puede discutirse y se discute muy fieramente, no parecen muy discutibles las medidas que aquí se presentan y que como hemos dicho cualquier Ingeniero de Caminos puede hacer por su cuenta con un simple pc y unos acelerómetros a bordo de los trenes.

Las figuras 16 A, B y C dan al lector una idea muy gráfica de las aceleraciones laterales del mismo tren Talgo Altaria en ambas vías, y puede verse cómo en la nueva de Zaragoza las aceleraciones medidas son prácticamente el doble que en la vía de Sevilla. La figura 17 muestra en el conjunto de 300 km las aceleraciones laterales positivas (la señal es prácticamente simétrica) medidas en caja de pasajeros en ambas vías AVE con el mismo tren, con los mismos acelerómetros, muestreando a la misma frecuencia, 1kHz y con solo 4 días de diferencia en las medidas. Puede observar el lector que las aceleraciones laterales de la vía de Sevilla son del orden de 1 m/s<sup>2</sup> y prácticamente en su totalidad inferiores a 2 m/s<sup>2</sup> salvo en el tramo de los pk 100 a 170, mientras que en la práctica totalidad de la vía de Zaragoza son superiores a 2 m/s<sup>2</sup> y en muchos tramos superan los 2.5 m/s<sup>2</sup>. Observe el lector Ingeniero de Caminos que los ejes de aceleraciones de la figura 16 están cortados de -5 a 5 m/s<sup>2</sup>, pero algunos picos de la señal son mayores: en vía II en 3 ocasiones superan los 10 m/s<sup>2</sup> y en otras 2 superan los 5 m/s<sup>2</sup>, sin considerar naturalmente los golpes debidos a los aparatos de vía en las entradas o salidas de las estaciones.

Como se ha dicho, al analizar estos resultados se suele comentar que no es la vía de Zaragoza la que está peor que la de Sevilla, sino que los trenes AVE 102 Talgo 350 "Pato" y el ALVIA de CAF-Alstom que entró en servicio el 17 de Mayo del 2006 se mueven más por sus propias características y que por eso las aceleraciones laterales son mayores. Pero se insiste en que las medidas que presenta el autor con el mismo tren en ambas vías en la figura 16 A, B y C muestran claramente que la vía de Zaragoza de 2003 es de muy inferior calidad a la de Sevilla de 1992.

Puede verse cómo en el tren Alvia las aceleraciones laterales medidas en caja en Vía II en Zaragoza son inferiores a las medidas en el AVE 102, pero debe tenerse en cuenta que la velocidad de este último es de 250 km/h salvo unos tramos de 61 km entre el pk 70 y el pk 205 (con numerosas precauciones y bajadas de velocidad) a 280 km/h mientras que el ALVIA circula a 200 km/h en su vía de 350 km/h como muestra la figura 19. Parece al autor que responsabilizar al material móvil de estas elevadas aceleraciones laterales no tiene mucho sentido cuando el fenómeno se repite con dos fabricantes distintos. Para comprobarlo, nada más sencillo que medir las aceleraciones en ambas vías con el mismo tren, lo que el autor ya ha hecho. Las medidas y los hechos indican que la calidad de la nueva vía de Zaragoza-Lérida-Barcelona es muy inferior a la de la vieja vía de Sevilla, y desde luego los movimientos de los trenes son de todo punto inaceptables en una vía de Alta Velo-

Fig. 18. Aceleraciones laterales medidas en caja en las vías de Sevilla y Zaragoza, 20 y 24 Ene y 7 Feb 2007. Trenes AVE 100 Alstom, AVE 102 Talgo (A) y Alvia (B).

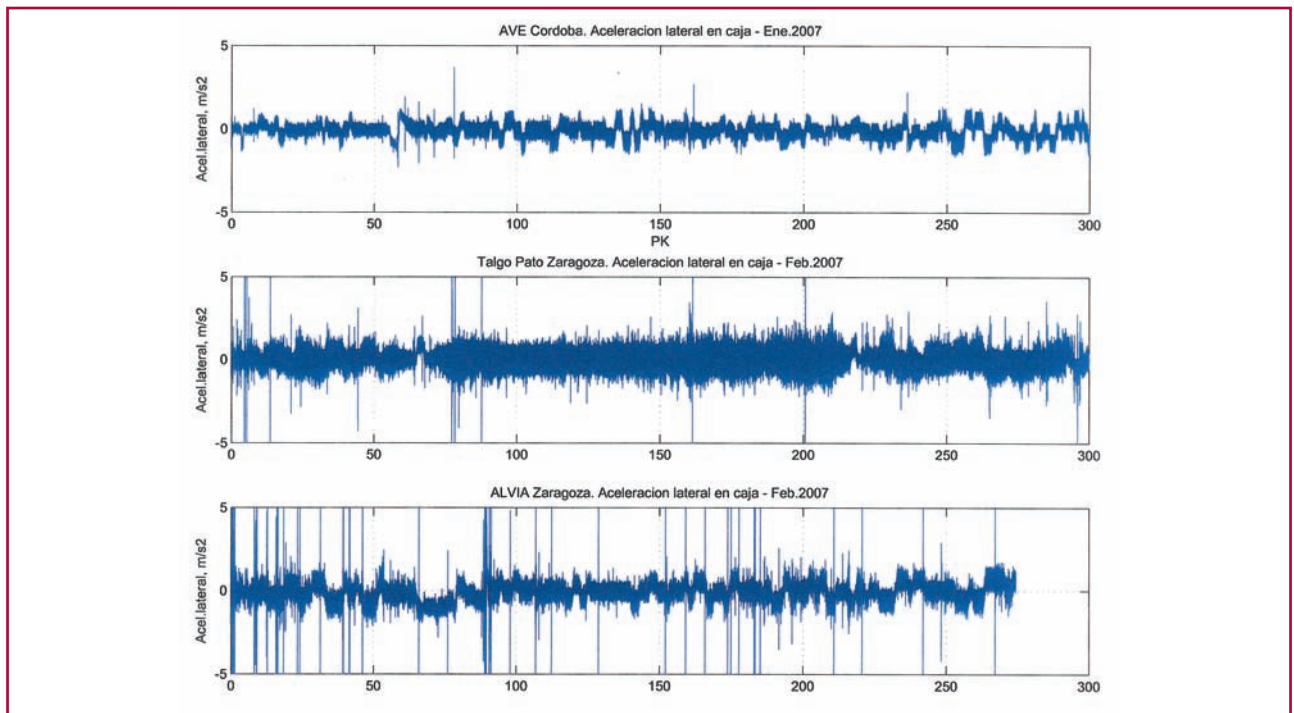
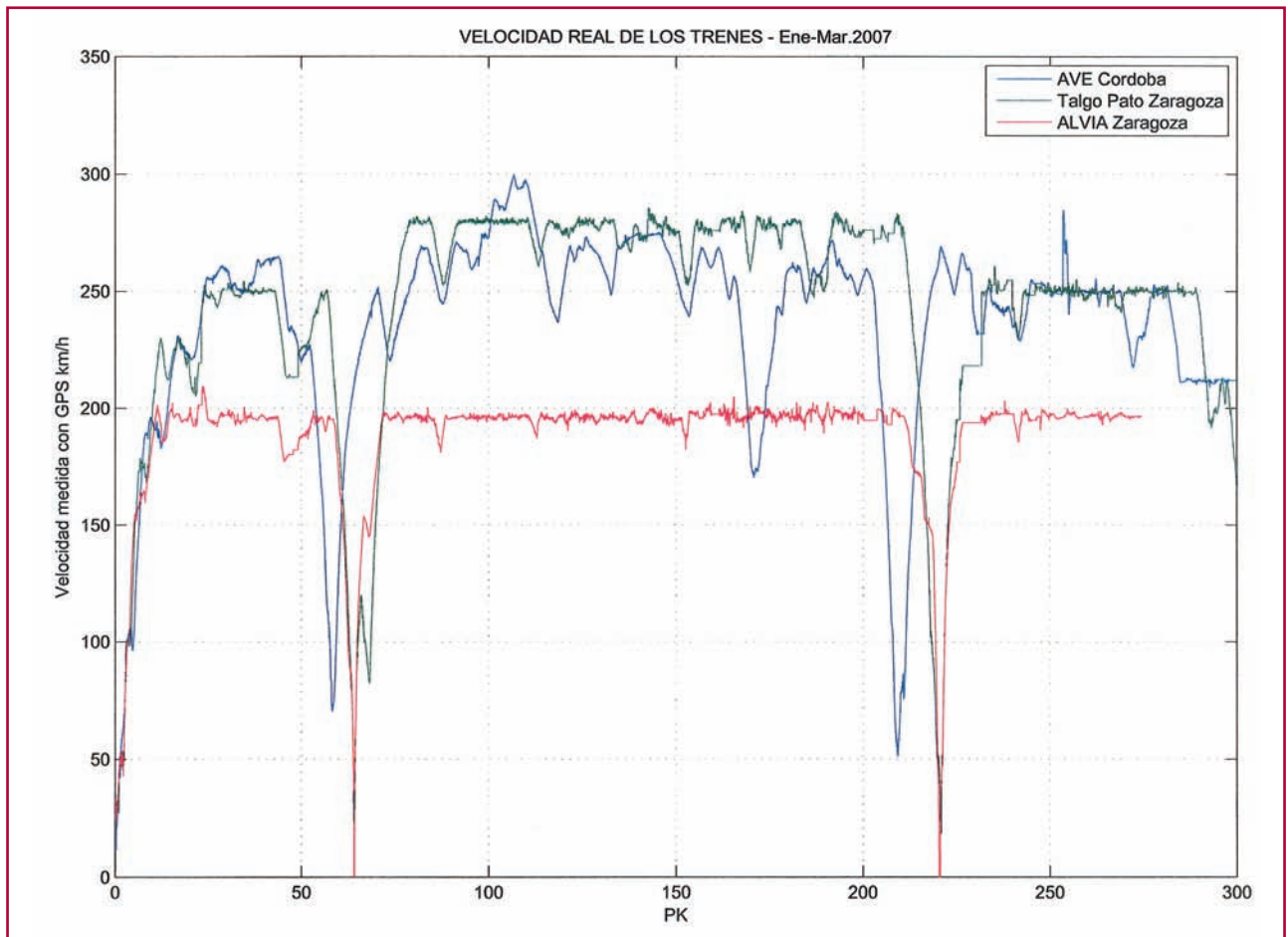


Fig. 19. Velocidades medidas en las vías de Sevilla y Zaragoza, 20 y 24 Ene y 7 Feb 2007. Trenes AVE 100 Alstom, AVE 102 Talgo y Alvia.



cidad nueva y que se había publicitado tantas veces como la mejor y más rápida del mundo.

De acuerdo con la teoría generalmente aceptada (ver, p.ej, López Pita Ref.14 pp.243-246 o Profillidis, Ref.15), los esfuerzos horizontales del tren sobre la vía responden a la suma de los efectos de la insuficiencia o exceso de peralte en las curvas más los esfuerzos aleatorios producidos debidos a defectos del material o de la vía y pueden estimarse por la expresión siguiente,

$$\alpha \left[ \frac{PV^2}{127R} - \frac{Ph}{S} \right] + \frac{PV}{1000}$$

En vías rectas o de radios muy grandes como la de Zaragoza los esfuerzos laterales quedan reducidos en la práctica al segundo sumando, la expresión experimental

$$\frac{PV}{1000}$$

Elo quiere decir que la aceleración lateral se comporta experimentalmente como si fuera proporcional a la velocidad del tren. Bajo esta hipótesis las aceleraciones laterales medidas a 200 km/h en el ALVIA quedarían multiplicadas por 1.4 para la velocidad de 280 km/h del Talgo, con lo que se obtendrían valores cercanos a los realmente medidos en este tren. Llama la atención el mucho peor estado de la vía 1 de Zaragoza, sentido Madrid, que el de la vía 2, sentido Zaragoza. Las aceleraciones laterales medidas en la vía 1 son del orden del doble que las de la otra vía, y casi cuatro veces las medidas en la vía de Sevilla de 1992 con velocidad mucho mayor, situación que está siendo objeto también de estudios particulares. El índice de confort del viajero de una y otra vía puede evaluarse por medio del índice de Sperling, que puede verse en la literatura (p.ej, López Pita, Ref.14, pp 101 y siguientes) viene dada por la expresión

$$Wz = 0.896 \sqrt[10]{\frac{a^3}{f}}$$

donde  $a$  es la aceleración en  $\text{cm/s}^2$  y  $f$  la frecuencia en Hz. Los análisis espectrales o de frecuencias de las distintas señales se presentarán más adelante, pero baste ahora observar que para una misma frecuencia determinada si las amplitudes de las aceleraciones son

4 veces mayores el índice de Sperling se multiplica aproximadamente por 1.5, y desde luego en la vía de Zaragoza el bamboleo continuo hace el viaje sumamente desagradable, sin que el viajero comprenda cómo puede ocurrir eso en una vía tan reciente y nueva.

Naturalmente estas elevadas aceleraciones laterales en caja se sufren también en el eje. No ha sido posible al autor, por obvios motivos, colocar acelerómetros en las cajas de grasa (16), pero los valores pueden estimarse a partir del coeficiente de flexibilidad "s" del tren por medio de la conocida expresión

$$Acel.eje = \frac{Acel.caja}{(1+s)}$$

Para los trenes modernos actuales puede tomarse  $s = 0.2-0.4$ , de donde se obtiene la aceleración lateral del eje. Estas grandes aceleraciones laterales del eje, afectadas por la gran masa del tren, producen unos también grandes esfuerzos laterales sobre la vía de balasto, que se deforma más y más y obliga a un mantenimiento de alineación cada vez mayor, con lo que el problema en las vías de balasto va aumentando. Esto no ocurriría con una buena vía en placa.

Las aceleraciones verticales medidas en la línea de Zaragoza, y su comparación con las medidas en la de Sevilla, se miden también con la misma facilidad. Aunque la diferencia entre las amplitudes de ambas señales es menor que en el caso de las aceleraciones laterales, el tren en la vía de Zaragoza sufre también aceleraciones verticales mayores que en la de Sevilla.

Como se ha dicho, todas estas señales están recogidas muestreando a 1kHz, es decir, 1000 veces por segundo (se nos indicó que RENFE muestrea estos mismos datos a 300 Hz), aunque en algunos viajes se ha muestreado también a 100 Hz. La normativa habitualmente utilizada, el CODE UIC 518, recomienda pasar un filtro paso bajo para eliminar las frecuencias mayores de 20 Hz, puesto que no son de mucho interés para el confort del viajero. La señal recogida en estas tomas de datos tiene 7.1 millones de medidas, que corresponden a 119.42 minutos de viaje, pero hoy día con las herramientas actuales ya podemos analizar sin problema vectores tan enormes. Un análisis elemental por la fft de 1 millón de datos, que corresponden a 17 minutos de viaje del tren y que puede hacerse instantáneamente con Matlab, da unos picos de frecuencias muy acusados en los 50 y 100 Hz y sus armónicos superiores, 150, 200, 250, 300



y 450 Hz, lo que según algunos expertos fabricantes de material móvil puede deberse a a línea eléctrica de 50 Hz. En la banda de 0 a 50 Hz aparecen picos en los 25 y 35 Hz, y en la banda de 0 a 10 Hz aparece el pico más acusado en los 0.53-0.58 Hz, lo que corresponde a unos periodos de oscilación de unos 1.7-1.8 segundos, que son los que resultan sumamente molestos al viajero. El autor desconoce por el momento las frecuencias propias de oscilación en balanceo de la caja del tren, pero la de los trenes modelo 6000 de Metro de Madrid, de dimensiones similares y fabricados también en aluminio, son del orden de los 0.46 Hz, lo que indica que estos picos corresponden probablemente a la frecuencia propia de las cajas. Un estudio espectral detallado de las aceleraciones se publicará mas adelante, pero el autor puede poner a disposición del lector interesado, gustosamente y sin coste alguno, todos los ficheros de todas las señales medidas por si tiene interés en analizarlas él mismo. El autor desearía disponer del mismo modo de las aceleraciones laterales de los AVE medidas por RENFE o ADIF en las cajas de grasa (17). En cualquier caso puede adelantarse que además de los aparatos de vía cuyos golpes se observan con facilidad en Zaragoza, las zonas de mayores aceleraciones horizontales y verticales son como podía esperarse las de los terraplenes y transiciones a las obras de fábrica o puntos duros, las llamadas cuñas de transición o bloques técnicos.

### Reflexiones sobre las vías de Sevilla y Zaragoza

1.- Se ha visto en las tres primeras partes de este trabajo que para que los trenes puedan circular a su Alta Velocidad de 350 km/h (y superior en los próximos años) no puede utilizarse la vía en balasto por los problemas del vuelo del balasto o schotterflug y el asiento de la traviesa. Debe utilizarse vía en placa, y el Ministerio ha reconocido estos hechos en la Ref.1.

2.- El mal estado de la vía de Zaragoza demuestra que los descensos y movimientos de los terraplenes y rellenos llevan a una vía de muy mala calidad, como muestran los gráficos que se incluyen. Se han presentado aquí los resultados de medidas de aceleraciones laterales y verticales de caja de viajeros en los mismos trenes y con los mismos equipos y se ve claramente que el movimiento de los trenes en la vía de Zaragoza es hoy, a los 3 años de puesta en servicio, mucho mayor que el de la vía de Sevilla con 15 años

de funcionamiento. No es fácil encontrar una explicación a esta situación, puesto que

- Las empresas constructoras y consultoras han sido en general las mismas en los AVE de Sevilla y Zaragoza, y son las mejores de España, lo que es decir las mejores de Europa.
- Las calidades de materiales y los controles han sido los mismos o aún mejores en Zaragoza que en Sevilla.
- Los plazos de Sevilla fueron en teoría más ajustados que en Zaragoza, puesto que los 471 km de Sevilla se construyeron en 4 años y en los 441 km de Lérida se ha tardado 10 años.

Algunas observaciones a esto pueden ser útiles al lector Ingeniero de Caminos: De los 71 tramos en que se dividió el proyecto del AVE Madrid-Barcelona, 31 tienen menos de 5 km de longitud y de éstos 15 miden menos de 3 km, 15 tramos tienen entre 5 y 10 km de longitud, 6 miden entre 15 y 20 km y solo 9 tramos miden entre 20 y 29 km de longitud. El de mayor longitud tiene 29,8 km. Si una alineación de Alta Velocidad puede medir varios kilómetros, con sus enormes rectas, clotoides y radios, estos cortísimos tramos de los proyectos impiden hacer ninguna corrección global, y aún menos si el consultor de un tramo no tiene acceso a los proyectos adyacentes de otros Consultores. Con respecto a las bajas de adjudicación, 13 de los proyectos por valor de más de 700 millones de euros en total se han adjudicado con bajas mayores del 20% (hasta del 36%, 38%, 42%, 44% y 46% en el tramo Zaragoza-Lérida), y 26 proyectos por valor de más de 1,250 millones de euros en total se han adjudicado con más del 10% de baja. Las obras de los tres tramos del Calatayud-Ricla se adjudicaron a finales de 1996 con bajas del 31%, 34% y 35%. Cinco de los tramos, con una longitud total de 78.7 km, se adjudicaron a empresas con muy poca o sin ninguna experiencia previa en construcción de líneas de Alta Velocidad. El autor opina, que hacer esto es muy contrario a garantizar una adecuada calidad de las obras y un plazo adecuado. Y los hechos que pueden comprobarse hoy 14 años después de comenzar los proyectos parecen confirmar esta opinión.

El lector Ingeniero de Caminos debe reflexionar sobre este importante problema de la vía del AVE Madrid-Barcelona y las experiencias que debemos sacar de ella para los ferrocarriles españoles y las próximas infraestructuras de Alta Velocidad. Y llegará probable-

mente, como el autor, a que, aparte de los temas administrativos anteriores, la explicación técnica más verosímil de la mala calidad de la vía de Zaragoza es la que el autor lleva defendiendo tantos años, los nocivos efectos en la Alta Velocidad de los terraplenes y rellenos, que causan una deformación continua y grande de la vía. Si esto en Sevilla no se notaba por circular el tren a velocidad reducida en los tramos de grandes rellenos, al pasar los trenes en Zaragoza a velocidades mayores, la vía se ha ido deteriorando enormemente de forma que hoy incluso los trenes lentos de 200 km/h acusan movimientos mayores que en Sevilla.

**3.-** Como se ha dicho, cualquier lector interesado en las infraestructuras ferroviarias puede realizar y comprobar estas medidas del estado de la vía prácticamente sin coste, con un sencillo pc, la tarjeta Labview y unos acelerómetros a bordo del tren.

**4.-** Con respecto a la baja velocidad del tren en esa vía, el autor no cree oportuno hablar en este momento del problema de la señalización ferroviaria del AVE Madrid-Barcelona. Suele decirse ahora que la Unión Europea ha obligado a instalar el sistema ERTMS para garantizar la interoperabilidad ferroviaria, pero es evidente que sólo se puede obligar a un país a instalar un sistema si este sistema funciona adecuadamente y está suficientemente probado con todas las garantías. Nada hubiera sido más sencillo que decir en su momento a los funcionarios de Bruselas que el ERTMS se pondrá cuando funcione, y que mientras tanto se pone otro que realmente funcione ahora, como se ha hecho en otros tramos de Alta Velocidad de Europa donde, como el Colonia-Frankfurt con su magnífica vía en placa, el tren corre actualmente a 300 km/h con toda seguridad. Lo que desde luego no parece de recibo es que en una línea de estas características las balizas se tengan que duplicar por los fallos aleatorios que sufren, esperando que no fallen las dos a la vez.

**5.-** Dejando aparte el problema de la señalización, si se acepta la anterior expresión experimental de las aceleraciones laterales, el paso a una velocidad comercial de 350 km/h en el Madrid-Lérida no parece posible hoy con el estado actual de la vía porque las aceleraciones laterales medidas en los trenes y los esfuerzos sobre la vía se multiplicarían por  $(350/200) = 1.75$  lo que llevaría a valores de todo punto inadmisibles para el pasajero, para el tren y

para la vía. El autor opina que el coste de las reparaciones necesarias en la vía de Zaragoza-Lérida-Barcelona para adaptarla a los 350 km/h prometidos va a ser altísimo, porque obligará al refuerzo y rigidización de los enormes terraplenes construidos y a la colocación de la vía en placa, pero circulando además en una vía mientras se trabaja en la otra, con los graves problemas de explotación que esto va a acarrear. Y ello en el momento en que la Administración ferroviaria está adjudicando los surcos a los diferentes operadores, surcos cuyos precios supone el autor que se basarán entre otras cosas en una determinada calidad de la vía que permita unos determinados tiempos de recorrido sin daño al tren ni a la infraestructura.

**6.-** Ello lleva al autor a insistir de nuevo en que los trazados actuales que salen de los Estudios Informativos no son los apropiados para la Alta Velocidad. Parece obligatorio ya, a la vista de lo expuesto, impedir que se sigan proyectando y construyendo desde el Ministerio los altos terraplenes que se están proyectando y construyendo actualmente en la Alta Velocidad española. Y parece también obligatorio ya exigir la vía en placa en la Alta Velocidad.

**7.-** El asiento del terraplén, imposible de estimar ni corregir adecuadamente, romperá la vía en placa como ha ocurrido con las autovías de firme rígido. La experiencia demuestra que ni los terraplenes ni los pedraplenes pueden construirse de acuerdo con las especificaciones aunque desde el despacho del proyectista se piense que sí, y por lo tanto deben eliminarse o reducirse, y esta eliminación de los terraplenes lleva consigo la reconsideración en profundidad de los trazados actuales. Por quien corresponda debe obligarse a bajar las rasantes, como hizo ya Japón hace 30 años, lo que en la 3ª parte de este trabajo se ha analizado por el autor y parece que no debe ser motivo de problemas técnicos. Debe irse a túneles de base mucho más largos y en menor número, y a huir de los terraplenes sustituyéndolos en lo posible por estructuras sencillas, sólidas y de coste reducido. Y deben modificarse los trazados actualmente en proyecto o en construcción, porque sin duda darán los mismos tristes resultados que esta vía de Zaragoza-Lérida-Barcelona. Aplica esto especialmente a los AVE de Valencia, Norte y Galicia, donde estos problemas aún podrían tal vez corregirse.

8.- En resumen, el autor ha intentado proponer en esta serie de artículos una metodología (que por otra parte nada tiene de original ni de nueva) para los trazados de Alta Velocidad que nos quedan por construir en España, inspirada en las experiencias y los desarrollos de Japón y Alemania, fundamentalmente, para los tramos de velocidades del orden de 350 km/h y mayores. Largos túneles al estilo de los Joetsu o Tohoku, vía en placa estilo Shinkansen o alemana, una sujeción elástica propia desarrollada en España si es posible, para evitar los altos precios actuales, y la eliminación de los terraplenes y el balasto que necesariamente les acompaña.

Puede argumentarse que esto hará algo más caros los nuevos trazados de Alta Velocidad en España. Pero el lector debe reflexionar a este respecto sobre los siguientes hechos: (1) Las vías propuestas no tienen mantenimiento, y en pocos años se habrá amortizado su mayor coste de construcción, en 9 años según los datos de Japón, no en los 60 años indicados por algunos responsables españoles. (2) Los trenes podrán circular a su velocidad de 350 km/h o mayor desde el primer momento, lo que pondrá la mayor distancia entre Madrid, Barcelona, Valencia, Bilbao y el resto de ciudades españolas, unos 600 km a 1000 km, a 1.5, 2 o 3 horas. (3) La experiencia de los últimos años demuestra que una infraestructura que se pretende sea de coste inicial reducido termina casi siempre siendo extraordinariamente cara. El autor opina que la infraestructura de Alta Velocidad más cara del mundo en relación a su escasa utilidad y al coste que va a suponer su adecuación a 350 km/h es posiblemente la línea Madrid-Zaragoza-Barcelona.

9.- La pregunta ahora es: ¿qué hacemos los Ingenieros de Caminos con los AVE de Barcelona y Córdoba-Málaga, de los que tantas veces se nos dijo que eran las primeras Alta Velocidad del mundo a 350 km/h y en que hoy se nos informa y comprobamos que el tren no puede pasar de 280 km/h, y ello a saltos en muy cortos tramos?. La respuesta detallada se dará en otro momento, pero sin duda será necesario instalar vía en placa tras rigidizar o pilotar los altos terraplenes y cuñas de transición, y hacerlo trabajando por mitades, dejando una sola vía en servicio a velocidad muy reducida. El autor cree que, si se organizan y dirigen bien los trabajos, todo esto puede hacerse en menos de 30 meses.

10.- Quedan algunas preguntas al autor, y a los numerosos Ingenieros de Caminos interesados en los ferrocarriles y que no pueden hacerlas:

A. Por quien y por qué se ha decidido que la vía de Alta Velocidad española sea en balasto.

B. Por quien y por qué se han fijado los criterios de selección actuales de los trazados de Alta Velocidad, que han llevado a la vía de Zaragoza a la trágica situación actual. Por qué no se ha estudiado adecuadamente el comportamiento de esta vía antes de seguir aplicando esos mismos criterios en los AVE de Valencia y Levante, de Galicia, del Noroeste y del Córdoba-Málaga.

C. Por quien y por qué se ha decidido que la vía de Alta Velocidad española sea solamente para viajeros y no puedan circular los trenes de mercancías, cuando la red alternativa en España no está en la situación de la francesa o alemana. Los próximos explotadores privados decidirán si llevan las mercancías por tren o no, pero eso no debe decidirlo nadie más que ellos. La habitual afirmación "el tren lento dañará la vía" debe desterrarse, porque ello sólo ocurrirá si la vía está mal proyectada, con grandes peraltes y radios pequeños.

D. Por quien y por qué se ha decidido que en España no puedan circular los AVE de 2 pisos. Si un tren cuesta un 35% más pero transporta un 50% más de pasajeros, deben ser los nuevos explotadores privados quienes decidan lo más conveniente, como en Francia o Japón. Y la entrevía y los túneles deben permitir el paso de trenes de 3.5 m de ancho de caja o mayores y de 2 pisos a sus 350 km/h de velocidad.

11.- El autor cree que el factor clave del fracaso de esta importante infraestructura ferroviaria AVE de Zaragoza-Barcelona ha sido el intento de ahorro en la inversión inicial. Y ya pueden verse los resultados de estos intentos de ahorro. El autor cree obligatorio cambiar total e inmediatamente esta forma de pensar, yendo a minimizar por el contrario el coste total a lo largo de la vida útil de la infraestructura y superestructura ferroviaria.

12.- La figura 20 muestra por tramos de 5 Km los análisis espectrales de las aceleraciones laterales a que están sometidos en Marzo 2007 los viajeros de los correedores de Córdoba y Zaragoza, y la 21 los correspondientes al mismo tipo de tren Altaria en ambas vías, y huelga todo comentario. El AVE de Valencia-Levante está actualmente en construcción, como decimos,

Fig. 20.

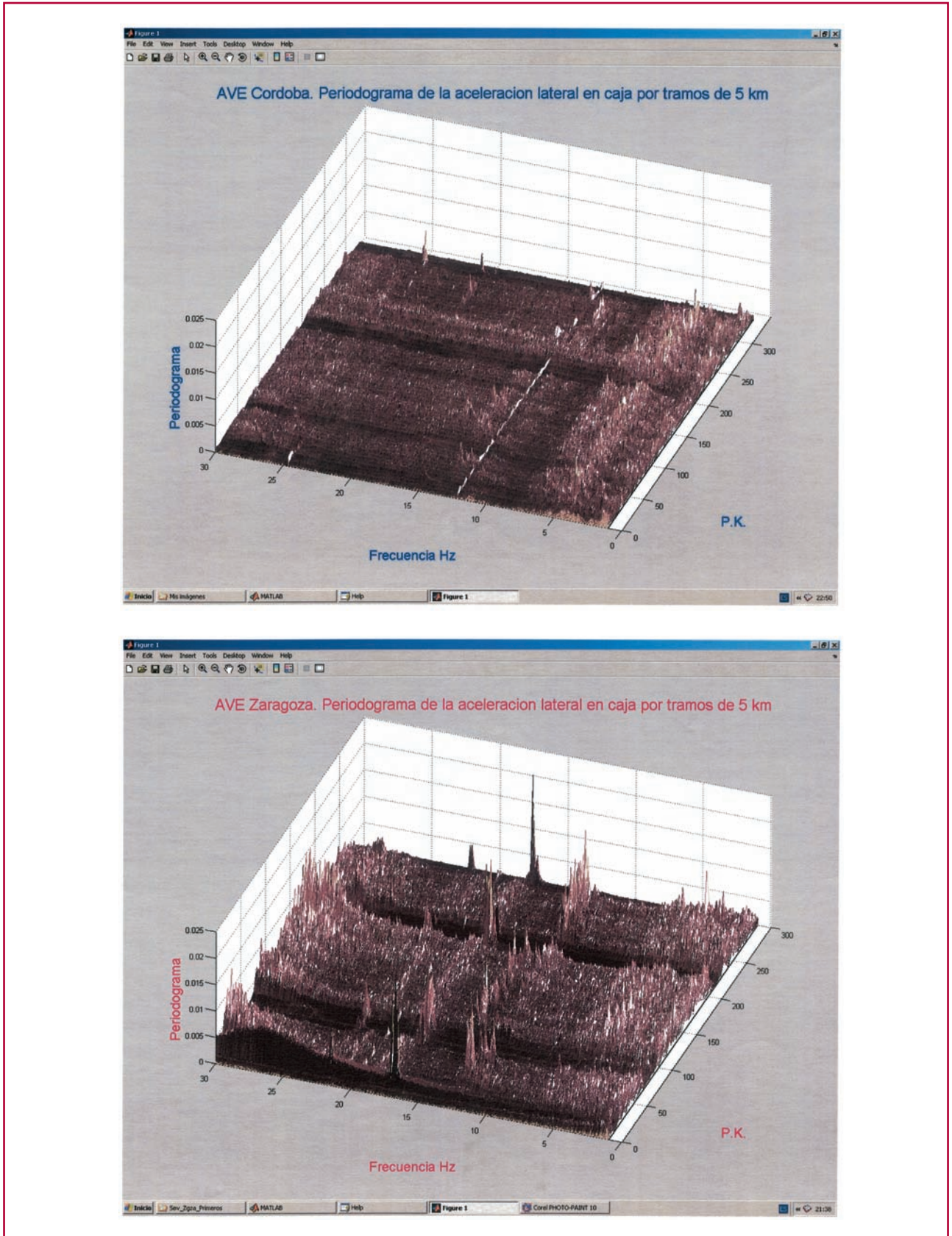
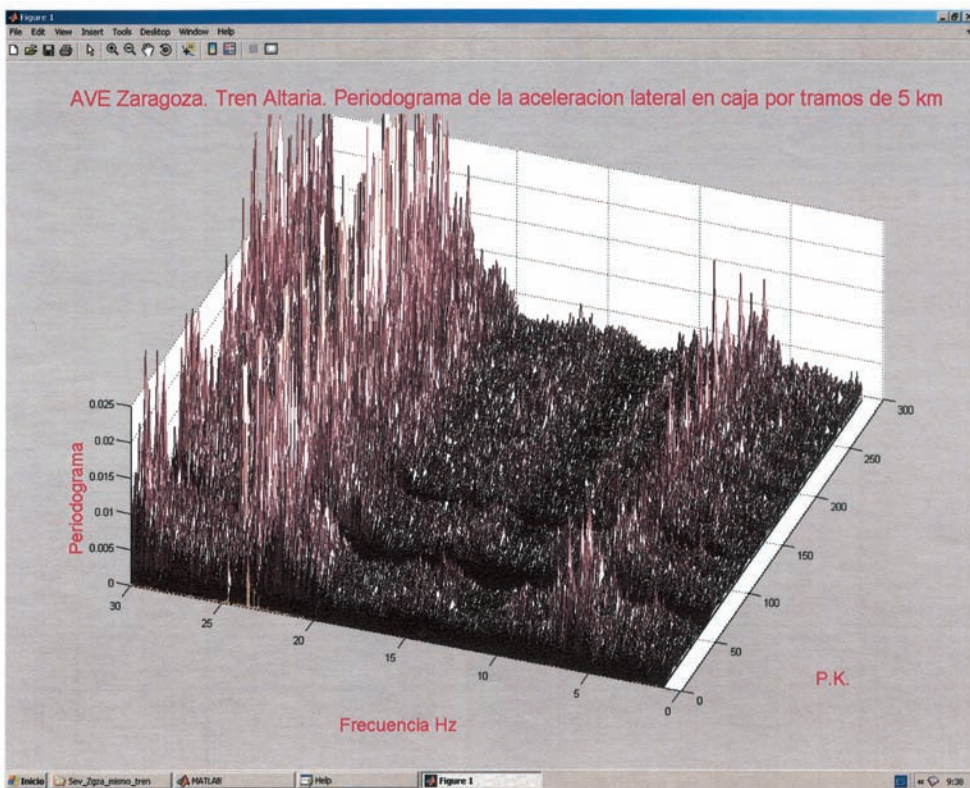
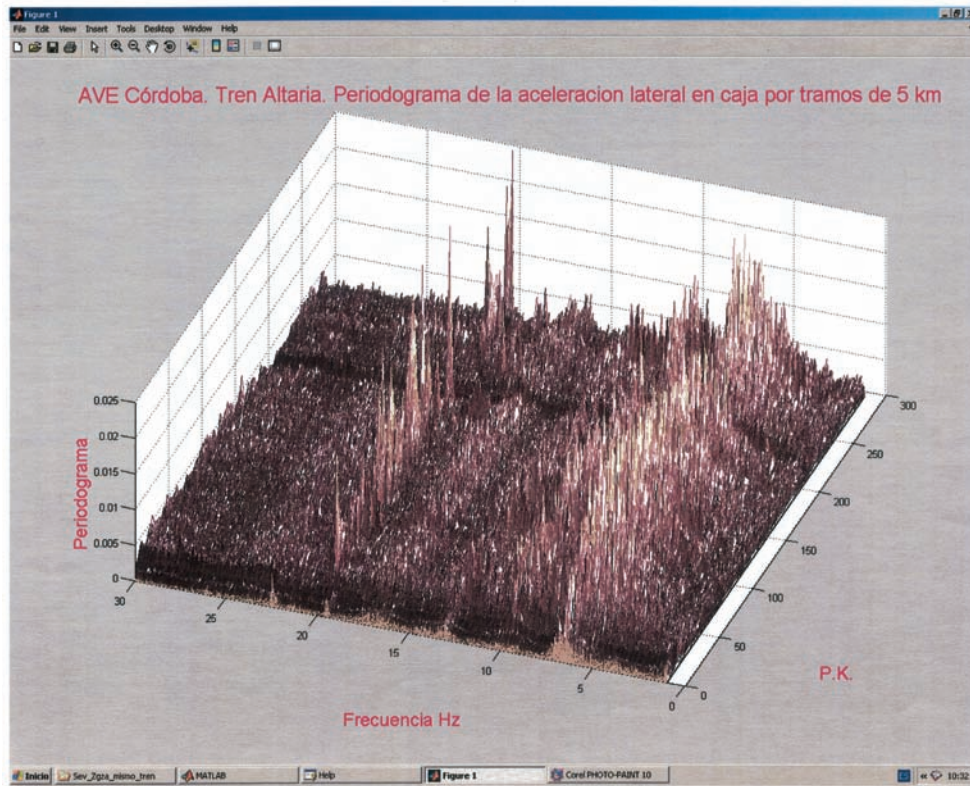




Fig. 21.



con los mismos criterios del de Zaragoza en cuanto a terraplenes y bloques técnicos, cortos y numerosos túneles y tipología de vía. Es evidente que a los pocos meses de entrar en servicio los trenes tendrán las mismas limitaciones y problemas que en Zaragoza. El autor cree que las Administraciones Autonómicas y Locales afectadas por este importantísimo proyecto (Madrid, Castilla La Mancha, la Generalitat Valenciana y Murcia) pueden actuar ahora para corregirlo. Pueden encargar a sus respectivas Universidades unas medidas objetivas del comportamiento de los trenes en las vías de Sevilla y de Zaragoza-Barcelona, similares a las que el autor ha presentado en este trabajo. A continuación, y si sus técnicos validan las conclusiones del autor en cuanto a la pésima calidad de la vía de Barcelona, deberían pedir la inmediata rigidización y tratamiento de los terraplenes del corredor AVE de Valencia-Levante para evitar sus descensos, y a continuación pedir la instalación de una adecuada vía en placa en todo el corredor, para evitar por una parte el vuelo del balasto y el peligroso golpeo a los trenes y por otra parte para evitar las deformaciones de la vía que están ocurriendo en Zaragoza. Deben exigir que la vía quede en condiciones adecuadas para que los trenes puedan circular sin peligro a su velocidad de diseño, 350 km/h hoy y más en un próximo futuro.

**13.-** Lo mismo debe hacerse en el resto de corredores de Alta Velocidad actualmente en Proyecto o en construcción, como Noroeste, Galicia, Pajares o Extremadura. El autor cree que deben hacerse llegar estas medidas y recomendaciones y estos estudios preliminares a las Consejerías de Obras Públicas

de las correspondientes Comunidades Autónomas y Grandes Ciudades para que ellos mismos las repitan con sus propios técnicos y Universidades y lleguen a sus propias conclusiones. Las medidas de la calidad de vía con un pc desde el tren no pueden ser más elementales y sencillas. La Ingeniería de Caminos española y las Comunidades Autónomas afectadas no pueden permitir que en las nuevas líneas AVE vuelva a ocurrir lo que ha ocurrido en la vía de Zaragoza-Barcelona.

**14.-** Finalmente el autor ruega a los compañeros Ingenieros de Caminos de RENFE y ADIF que no se interpreten estos artículos como una crítica a los trabajos que desarrollan con enorme dedicación, ilusión y esfuerzo algunos compañeros de esas insituciones, sino como una propuesta de reflexión sobre los trazados ferroviarios en el siglo XXI. La opinión del autor, y de muchos otros compañeros que no pueden expresarla con la libertad e independencia que él tiene, es que no es posible para el ADIF construir la Alta Velocidad con los trazados que le llegan en los Estudios Informativos actuales y que le obliga a construir la Dirección General de Ferrocarriles. Una vez que estos deficientes Estudios Informativos se han aprobado, con sus rosarios de túneles, terraplenes y viaductos y su obsoleta vía de balasto, el resultado es como vemos una infraestructura en la que el tren no puede circular a su velocidad. Es necesario modificar urgentemente los criterios de los Estudios Informativos con las propuestas que aquí se hacen u otras similares, dada la evidencia de que los aplicados hasta ahora han llevado a la triste situación actual de la Alta Velocidad española. ♦

#### Referencias:

- 1. Ver BOE nº 175, 24 Julio 2006, pag.27705, donde se describe con crudeza el problema
- 2. MARISTANY. E. "El túnel de Argentera. Tratado de construcción de túneles". Henrich y Cía. Barcelona 1892. D. Eduardo explica que siguió perforando a mano tras probar los martillos desarrollados en Suiza porque no le eran económicamente rentables. Los 6 tomos se encuentran en la biblioteca del Colegio.
- 3. WAIS, F. "Historia de los Ferrocarriles Españoles". Ed. Nacional, Madrid, 1974.
- 4. ARTOLA, M "Los Ferrocarriles en España 1844-1943". Serv.Estudios Banco de España, Madrid, 1978, Tomo I pp.242, que modifica ligeramente algún dato de las fechas de Wais.
- 5. Ver, p.ej, en la web las declaraciones ministeriales al respecto en el diario El País del 2-Agosto-1996
- 6. "La construcción de la línea Córdoba-Brazatortas es una realidad inminente". Via Libre, Oct.1986, pp 7-9.
- 7. "Concluido el proyecto constructivo de la línea Getafe-Brazatortas". Via Libre, Oct.1987.
- 8. ALCAIDE, A. "Descripción General. Tramo Getafe-Córdoba". Ministerio de Transportes, Feb. 1991.
- 9. El peligro de los muros de tierra armada es bien conocido por la Ingeniería de Caminos, y las roturas son muy frecuentes. El autor no entiende por qué se utiliza tanto este sistema de contención.
- 10. MELIS, M. "Terraplenes y balasto en la Alta Velocidad, Primera Parte", ROP nº 3464, Marzo 2006, pp.7-36
- 11. LAMAS. B. "La Alta Velocidad Madrid-Zaragoza-Lleida en servicio comercial", Líneas del tren, nº 300, Oct 2003, pp 9-11
- 12. Diario El País, 11 Febrero 2007, pag. 81
- 13. El autor no ha podido conseguir ninguna información oficial del Ministerio al respecto.
- 14. LÓPEZ PITA, A. "Infraestructuras Ferroviarias", Ed.UPC, 2006, pp 243-246.
- 15. PROFILLIDIS, V.A. "Railway Management and Engineering", Ashgate, 2006, pp.277.
- 16. En uno de los viajes de práctica midiendo estos datos, el autor observó que otros compañeros, que resultaron ser técnicos de RENFE, estaban midiendo en la zona Club del tren AVE 102 exactamente lo mismo con otros equipos portátiles, pero disponían de un acelerómetro en la caja de grasa del bogie, cuyo cable pasaban por la puerta. Lamentablemente el autor no pudo hacer esa instalación.
- 17. El autor tiene cursadas más de 30 solicitudes solicitando estos y otros datos al Ministerio en los últimos 3 años. Sin respuesta.