

Terraplenes y balasto en Alta Velocidad Ferroviaria. Segunda parte: Los trazados de Alta Velocidad en otros países

Embankments and Ballast in High Speed Rail Second part: High Speed lines in other countries

Manuel Melis Maynar. Prof. Dr. Ing. De Caminos, M.Sc, MBA
Catedrático de Geotecnia. ETS Caminos Coruña (Exced.). Catedrático de Ferrocarriles, ETS Caminos Madrid.
Email : mmelism@terra.es

Resumen: El autor resume la evolución de los trazados de Alta Velocidad en Japón, Alemania, Francia y otros países, mostrando cómo los dos primeros decidieron ya hace décadas que para la Alta Velocidad no es válida la vía en balasto, y cómo la vía en placa ha llevado a su vez a la práctica eliminación de los terraplenes altos reduciendo su altura a 9 m y su asiento a 30 mm, bajando rasantes y alargando túneles. En Francia, que sigue con vía en balasto, hubo que cambiar todo el balasto a los 14 años de puesta en servicio del París-Lyon con un enorme coste, al igual que en el primer Shinkansen japonés Tokio-Osaka. Estos hechos, el enorme coste del mantenimiento del balasto, el peligro de su vuelo y el golpeo a los trenes y la imposibilidad de la utilización de la vía por los trenes de mercancías nocturnos debido al constante mantenimiento, hacen que el autor crea obligada la vía en placa para Alta Velocidad en España. La amortización de su mayor coste le parece ser mucho más cercana a los 8.8 años que dice Japón que a los 60 años que dicen algunos responsables españoles.

Palabras Clave: Alta Velocidad, Terraplén, Balasto, Vía en placa, Schotterflug

Abstract: The author summarises the development of high speed lines in Japan, Germany, France and other countries. Reference is made to the decision taken several decades ago by the first two countries not to employ ballasted track on high speed lines and how slab track has practically led to the elimination of high embankments and reduced heights to 9 metres and bases to 30 mm, reducing levels and lengthening tunnels. In France, where lines have continued to be ballasted, it was necessary to change all the ballast on the Paris-Lyon line after 14 years of service and at enormous cost and this also occurred on the first Japanese Shinkansen between Tokyo and Osaka. These factors together with the vast cost of maintaining the ballast and the fact that night freight trains cannot employ the track on account of this maintenance, leads the author to the conclusion that the total cost of slab track and its maintenance balances out in relation to ballasted track at lower than the 9 years indicated by the Japanese, and as opposed to the 60 years considered by certain Spanish authorities.

Keywords: High Speed, Embankment, Ballast, Slab track, Schotterflug

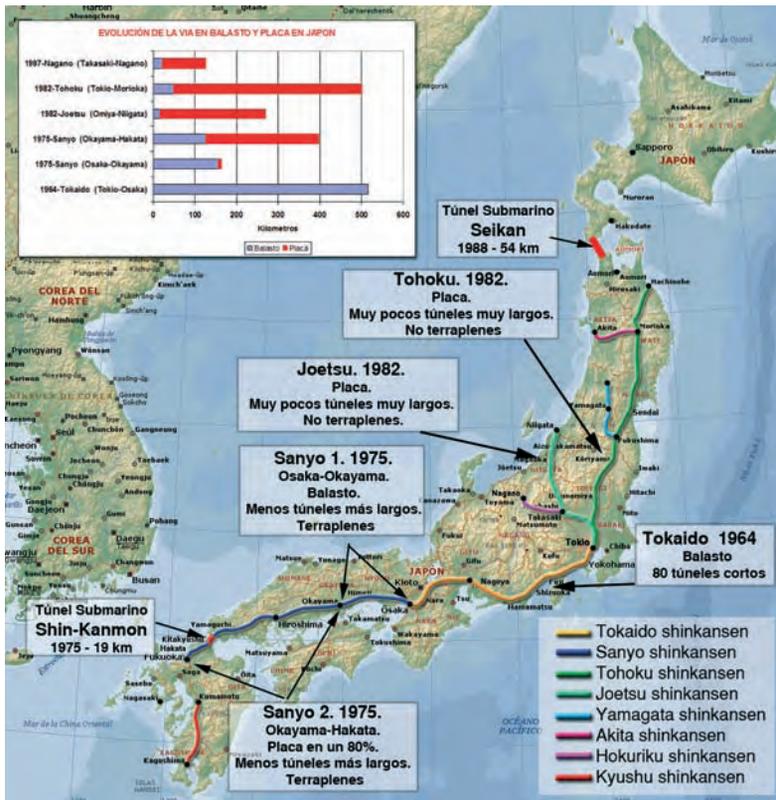
Introducción

En la primera parte de este trabajo se ha visto cómo los descensos de los terraplenes crean problemas a las líneas de Alta Velocidad, porque el balasto no parece permitir la circulación a más de 300 km/h a los trenes por los problemas que acarrea su vuelo, y los terraplenes no permiten construir sobre ellos la vía en placa. Se resume en este artículo la evolución de los trazados y superestructuras de vía de Alta Velocidad de Japón, Francia, Alemania, Italia, Corea y Taiwan.

La Alta Velocidad en Japón. Paso del balasto a la vía en placa hace 30 años

La red ferroviaria japonesa, la red de los famosos Shinkansen (nuevas vías), es la indicada en la figura 1.

Hoy Japón ya tiene en servicio el primer tren diseñado para 405 km/h de velocidad máxima, el Fastech 3605 (Ref.1) y tras los 515 km/h del TGV francés de 1990, tiene también el 2º record de velocidad en rueda-carril, los 443 km/h del Shinkansen 300X del 29 Julio 1996 (Ref.2), aunque las velocidades comerciales con



guir (Ref.4): el primer tren de Alta Velocidad del mundo fue el Tokaido Shinkansen, entre Tokio y Shin-Osaka, un tramo de 552.6 km (515 km sin los ramales) que entró en servicio el 24 de Septiembre de 1964 (Ref.5,6,7,8) para los Juegos Olímpicos de Tokio, financiado en su mayor parte con préstamos del Banco Internacional para la Reconstrucción y Desarrollo. Se proyectó menos de una década después de que Japón quedara terriblemente destrozado por la 2ª Guerra, con las dos bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki de Agosto de 1945, y la construcción comenzó en 1959, aunque la escasez de medios de la JNR (Japanese National Railway) en esos años no permitió hacer los tratamientos de terreno necesarios ni utilizar materiales de excelente calidad para los rellenos de sus 230 km de terraplenes (Ref.9). El radio mínimo es de 2.500 m (Ref.10), la rampa máxima 20 milésimas y la velocidad máxima en 1964 fue de 210 km/h, hoy aumentada a 270 km/h. Toda la vía del Tokaido se hizo en balasto, y a los doce años de servicio, todo este balasto tuvo que ser cambiado y renovado en 1976, operación que duró 5 años y obligó a reducir el número de circulaciones al día de 230 a 180 (veremos a continuación que en el tramo París-Lyon ocurrió lo mismo, teniendo que cambiar todo el balasto a los 14 años de servicio y obligando a circular en numerosos tramos en vía única durante varios meses al año). El trazado entre Tokio y Shin-Osaka tiene 49 túneles entre Tokio y Nagoya, y otros 31 entre Nagoya y Osaka, un total de 80 túneles, en general cortos salvo 18 que tienen más de 1 km de longitud y el de Tanna, de 7.9 km. La longitud total de estos túneles es de 62 km incluyendo

pasajeros avanzan en Japón muy poco a poco y con cautela.

Pese a la crisis de finales de los 80, los ferrocarriles de Alta Velocidad de Japón son un modelo a estudiar y se-

Fig.1. Red de Alta Velocidad en Japón (El Hokuriku Shinkansen se denomina hoy Nagano).

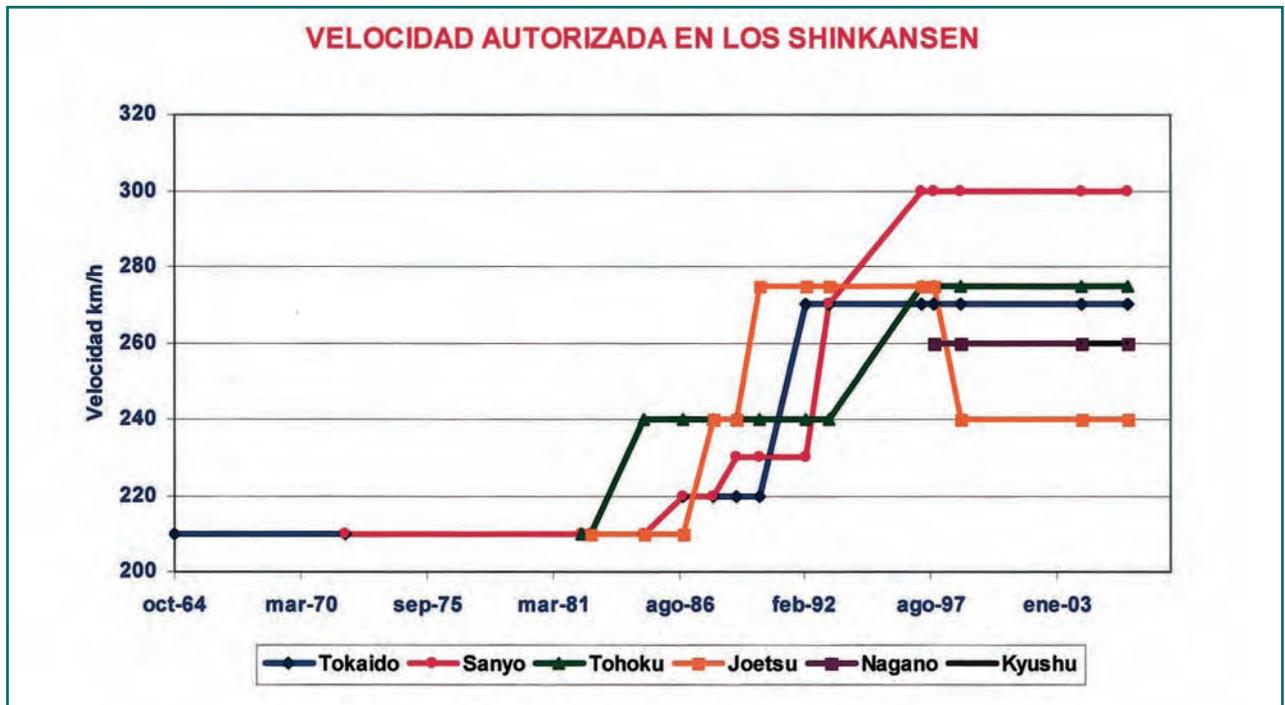


Fig.2. Paulatino aumento de las velocidades autorizadas en la Red de Alta Velocidad en Japón (Ref.3)

Tabla 1. Túneles del Tokaido Shinkansen mayores de 2.000 m

	Long. m
Shin-Tanna	7,959
Haneda	6,472
Nangosan	5,170
Otawayama	5,045
Kanbara	4,934
Kohoku	4,038
Ikubu	4,006
Yui	3,993
Izumigoe	3,194
Makinohara	2,917
Sekigahara	2,810
Okitsu	2,205
Sakanozaka	2,198
Ishibe	2,185
Higashiyama	2,094

Tabla 2. Túneles del Sanyo Shinkansen mayores de 2.000 m

	Long. m		
Shin-Kanmon	18,713	Aioi	3,989
Rokko	16,250	Onomichi	3,800
Aki	13,030	Hongo	3,683
Kitakyushu	11,747	Fuchū	3,523
Bingo	8,900	Habu	3,409
Fukuoka	8,488	Kurashiki	3,317
Kobe	7,970	Akechi	3,304
Hosaka	7,588	Takatsukayama	3,264
Shin-Kinmeiji	6,822	Daini-takayama	3,207
Ohirayama	6,640	Oto	3,065
Itsukaichi	6,585	Yamada	2,898
Koi	5,960	Asahara	2,863
Tonda	5,543	Konko	2,712
Ono	5,389	Imadate	2,680
Takehara	5,305	Kasaoka	2,622
Iwakuni	5,132	Futukaichi	2,575
Otake	4,875	Suma	2,388
Fukuyama	4,235	Daiichi-migita	2,255
Shinjo	4,120	Ako	2,146
		Yoshiyukiya	2,090
		Sudo	2,040

Tabla 3. Túneles del Tohoku Shinkansen mayores de 2.000 m

	Long. m
Hakkoda	26,500
Iwate-Ichinohe	25,810
Zao	11,215
Fukushima	11,075
Ichinoseki	9,730
Nasu	7,030
Daini-Shiroishi	3,737
Shiga	3,502
Ninohe	3,330
Shibutani	3,295
Osaki	3,065
Shirasaka	2,965
Ishikurayama	2,620
Daini-arikabe	2,428
Omata	2,415

2.2 km soterrados en las cercanías de Tokio, y la longitud total de los viaductos es de 18.1 km. Debido a la topografía del terreno, similar o incluso peor que la española, los túneles, viaductos y los tramos de vía elevada sobre pórticos suman un total de 226 km, casi la mitad del tramo. Hoy, año 2006, el trayecto entre Tokio y Osaka, los 552.6 km, se realiza por los trenes expresos (Nozomi) en 2h 30m a una velocidad comercial de 221 km/h, y circulan 287 trenes al día. Al entrar en servicio el 1 de Octubre de 2003 las cocheras de Shinagawa en Tokio (Ref.11) los trenes del Tokaido pasaron en hora punta de 11 a 15 (es decir, cada 4 minutos), y los nuevos trenes basculantes podrán circular a una velocidad máxima de 270 km/h en las curvas de 2.500 m y a 300 km/h en el resto del trazado (Ref.12), sin superar las 11.4 toneladas por eje - mientras que el peso por eje del primer tren, el tren-bala o Serie-0 era de 16 t por eje.

Tras el enorme éxito de esta nueva línea Tokaido, el siguiente Shinkansen Sanyo de Osaka hasta Okayama (180.3 km) y después Hakata (otros 463.7 km, total 644 km desde Osaka) se planeó ya para 260 km/h, con radios mínimos de 4.000 m y rampas de 15 milésimas (Ref.13) y se construyó también el túnel submarino New Kanmon de 18.7 km entre las islas de Honshu y Kyushu. Por los enormes problemas de mantenimiento de la vía en balasto del tramo anterior, la vía ya se proyectó en placa especialmente en el tramo Okayama-Hakata. El tramo Sanyo entre Osaka - Okayama se inauguró el 15 de Marzo de 1972, y el Okayama - Hakata el 10 de Marzo de 1975. Desde Osaka hasta Okayama hay 25 túneles, de Okayama a Hiroshima 36 y de Hiroshima a Hakata 68, de forma que en total de Osaka a Hakata hubo que construir 129 túneles, lo que da idea de la topografía del corredor. Recuerde el

lector que entre el Canal de La Mancha y París (309 km, 198 de París a Lille y 111 de Lille al Canal) no hay ningún túnel, sólo 2 artificiales en Lille.

El siguiente Shinkansen Tohoku entre Omiya y Morioka se inauguró el 23 Junio 1982, ya todo él con vía en placa, con largos túneles y vía sobre viaductos sencillos y estandarizados, ver Tablas 7 y 8. En Diciembre 2002 se abrió la prolongación entre Morioka y Hachinohe, 96.6 km, para acortar 44 minutos en el trayecto de 631.9 km entre Tokyo y Hachinohe (Ref.14,15), y en este tramo está situado el túnel de Iwate-Ichinohe, que con 25.8 km era hasta hace poco el túnel ferroviario terrestre más largo del mundo (Ref.16,17,18), superando al anterior de 1982, el Oshimizu del Joetsu. Pero pronto ha sido superado por otro túnel aún mayor bajo el monte Hakkoda, en la prologación de esta línea hasta Shin Aomori. Este túnel de Hakkoda mide 26.5 km y se caló el 25 de febrero de 2005 (Ref.19).

El Shinkansen Joetsu entre Omiya y Niigata (303.6 km), también vía en placa, largos túneles y estructuras sencillas, se inauguró el 15 Noviembre 1982. Como atraviesa las zonas de alta montaña y muy frías entre los Parques

Fig. 3. Perfil longitudinal de un tramo del norte del Tohoku Shinkansen.

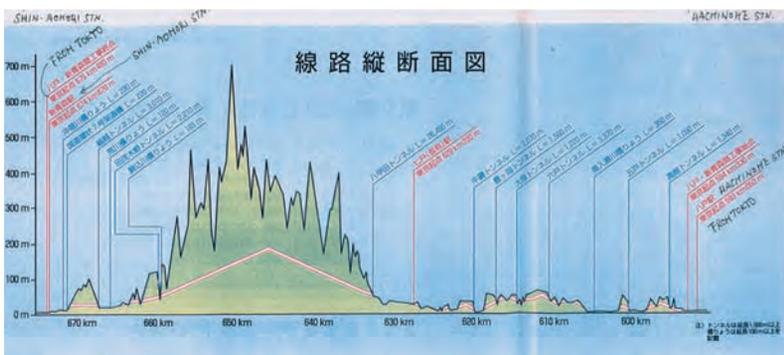


Tabla 4. Túneles del Joetsu Shinkansen mayores de 2.000 m	
	Long. m
Dai-Shimizu u Oshimizu	22,221
Haruna	15,350
Nakayama	14,857
Shiozawa	11,217
Uonuma	8,625
Tsukiyono	7,295
Urasa	6,087
Yuzawa	4,480
Shin-matsukawa	3,394
Horinouchi	3,300
Ishiuchi	3,109
Takiya	2,669
Daisan-Osawa	2,496

Tabla 5. Túneles del Hokuriku Shinkansen mayores de 2.000 m	
	Long. m
Gorigamine	15,175
Kubiki	11,353
Akima	8,295
Mimakigahara	6,984
Ichinose	6,165
Usuitōge	6,092
Yaehara	5,718
Shin-fukasaka	5,173

Tabla 6. Túneles del Kyushu Shinkansen mayores de 2.000 m	
	Long. m
Daisan-shibisan o Shioyama	10,010
Tagami	6,995
Yoshio	6,040
Shin-tsunaki	5,120
Daini-himaizumi	4,680
Shiozuru	4,170
Daiichi-kanmuridake	3,548
Kuwakawauchi	3,440
Daini-shibisan	3,394
Satsuma-tagami	3,287
Daiichi-shibisan	2,435

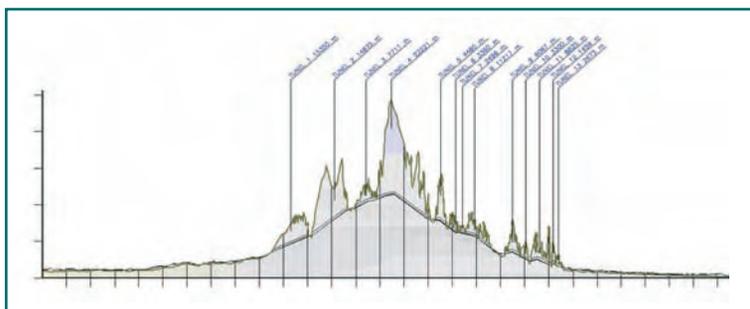
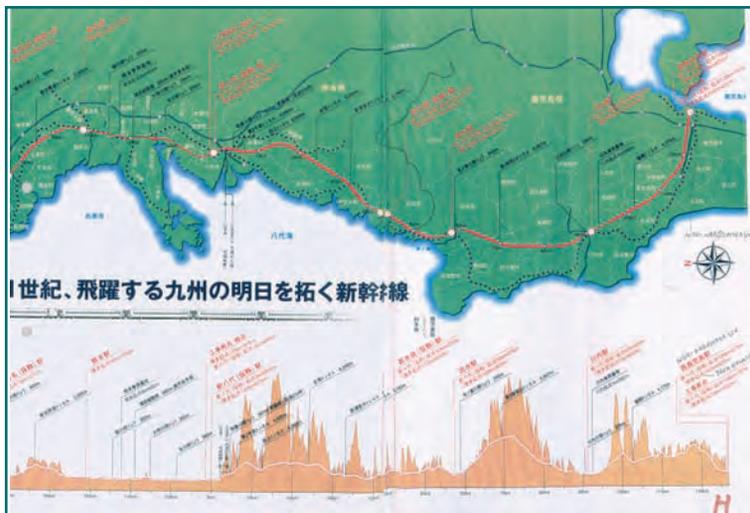


Fig. 4. Perfil longitudinal del Joetsu Shinkansen.

Nacionales Nikko y Joshin-Etsu-Kogen, la vía está equipada incluso con aspersores de agua caliente, y para reducir el problema de las proyecciones de balasto al caer los bloques de hielo de los bajos del tren, las escasas zonas de balasto se protegen con las gomas de las figuras 8 y 9 de la Ref.20 . En 1985 se elevaron las velocidades máximas del Tohoku y Joetsu de 210 a 240 km/h, el Tohoku aumentó la velocidad a 275 km/h en 1997 con el nuevo tren

Fig. 5. Planta y perfil longitudinal de un tramo del Kyushu Shinkansen.



E2, y para ajustarse a la enorme demanda que crearon esos magníficos trenes, Tohoku y Joetsu comenzaron a usar en 1994 en hora punta los trenes tipo E1, de 12 coches de dos pisos y en 1997 se introdujeron también las ramas E4, de 8 coches de dos pisos. En doble composición el E4 funciona como una rama de 16 coches con capacidad para 1,634 pasajeros, un 40% mayor que las ramas de 16 coches de un piso. El 6 de Abril de 2003 un tren comercial de la serie E2 batió el record de velocidad de Japón, llegando a 362 km/h (Ref.21).

El Shinkansen Hokuriku (ahora llamado Nagano Shinkansen) entre Takasaki y Nagano, 117.4 km de vía en placa y las mismas características, se abrió en Octubre 1997.

En Tokio el tramo Ueno-Omiya se abrió el 15 Marzo 1985, y en 1991 el Tokyo-Ueno, las salidas norte de la capital. En Marzo 2004 se abrió el primer tramo de 126.1 km del Kyushu Shinkansen entre Shin Yatsushiro y Kagoshimachuo (Ref.22), vía en placa con rampas de 35 milésimas por primera vez en los Shinkansen y que con sus 50 túneles tiene un 70% del trazado en túnel. En general los túneles tienen una sección excavada de 74 m². (Ref.23).

Así pues, a la vista de las experiencias y los problemas de mantenimiento, la vía en balasto desapareció ya en 1982 de la Alta Velocidad japonesa, como puede verse en la tabla 7 (Ref.24).

Indica Shigeru Miura en la citada referencia que los estudios japoneses muestran que la vía en placa es 1.3 veces más cara que la vía en balasto, pero que esta ventaja económica desaparece a los 9 años, por los menores costes de mantenimiento de la placa, y que esta vía en placa es hoy la vía estandar para los Shinkansen (Ref.25). Estos 9 años contrastan fuertemente con los 60 que calculan autores españoles (Ref.26). Hoy, el mantenimiento del Tokaido, construido en balasto que como decimos se tuvo que renovar a los 13 años, es un trabajo constante y enormemente caro, cuyos detalles pueden

Tabla 7. Balasto y Placa en los Shinkansen (Refs. 23 y 32)

Desaparición del balasto en la vía de la red Shinkansen			Balasto	Placa	Total
1964	Tokaido	Tokio-Osaka	516	0	516
1975	Sanyo	Osaka-Okayama	156	8	164
1975	Sanyo	Okayama-Hakata	125	273	398
1982	Joetsu	Omiya-Niigata	15	255	270
1982	Tohoku	Tokio-Morioka	48	453	501
1997	Nagano	Takasaki-Nagano	20	105	125
	Suma		880	1,094	1,974
En construcc	Tohoku	Hachinohe-Aomori	0.5	82	82
En construcc	Kyushu	Hakata-Yatsuhiro	0.0	130	130
En construcc	Nagano	Nagano-Kanazawa	0.3	221	221
En construcc	Hokkaido		4.8	144	149
	Suma		6	576	582
	Total		886	1,670	2,556

Terraplenes, Túneles y Viaductos en Japón

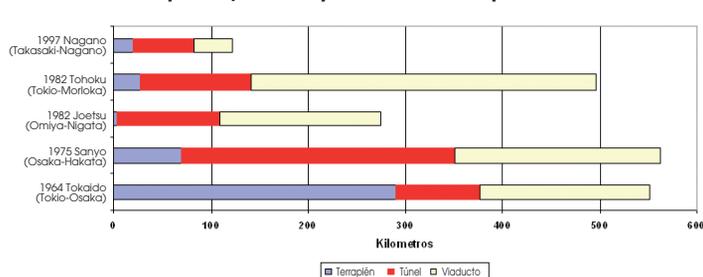


Fig. 6. Evolución de las infraestructuras de la Alta Velocidad en Japón (Suga, 2001).

Tabla 8. Evolución de las infraestructuras en los trazados de los Shinkansen (Suga, 2001)

Desaparición de los terraplenes en la vía de Alta Velocidad en Japón						
Shinkansen	Año	Tramo	Km Terraplén	Km Túnel	Km Viaducto	Km Total
Tokaido	1964	Tokio-Osaka	291	86	174	551
Sanyo	1975	Osaka-Hakata	70	281	212	563
Joetsu	1982	Omiya-Niigata	3	107	165	275
Tohoku	1982	Tokio-Morioka	27	115	354	496
Nagano	1997	Takasaki-Nagano	20	63	39	122

Tabla 9. Evolución de los túneles en los trazados de los Shinkansen

Evolución del proyecto de túneles en Alta Velocidad en Japón						
	Tokaido	Sanyo	Joetsu	Tohoku	Hokuriku Nagano	Kyuhu
Año apertura	1964	1975	1982	1982	1997	2004
Longitud total, km	515.4	553.6	269.5	593.1	117.4	126.1
Longitud en túnel, km	86.0	281.0	107.0	115.0	63.0	sin datos
% de túnel	16.7%	50.8%	39.7%	19.4%	53.7%	
Número de túneles según su longitud en km						
Mas de 20 km	-	-	1	3	-	-
De 15 a 20 km	-	2	1	-	1	-
De 10 a 15 km	-	2	2	2	1	1
De 5 a 10 km	4	13	3	4	6	3
De 2 a 5 km	11	24	6	12	10	7
Menos de 2 km	65	88	0	sin datos	sin datos	sin datos
Número total	80	129	13	-	-	-

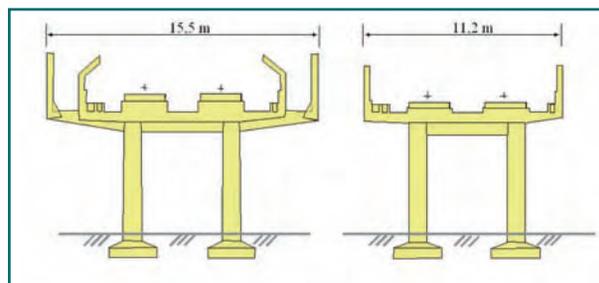


Fig. 7. Estructura de viaductos para eliminar los terraplenes en Alta Velocidad en Japón (Suga, Ref.29).

verse en la descripción de Masaki Seki, de Central Japan Railway (Ref.27).

Como la vía en placa exige una infraestructura con asientos postconstructivos muy pequeños (limitados a 30 mm en Japón, según Sunaga, Ref.28) su instalación exige una reconsideración del enfoque de los trazados de Alta Velocidad. La evolución de este enfoque puede verse en la figura 5 y tabla 8 (Ref.29) y puede resumirse en que prácticamente desde los años 80 no existen tampoco terraplenes en la Alta Velocidad japonesa. Los que es necesario construir tienen hoy su altura limitada a 9 m (Ref.30) y su descenso máximo se fija en 30 mm (Ref.31).

Esta desaparición de los terraplenes llevó a su vez a la necesidad de bajar las rasantes e ir a túneles mucho más largos que en el Tokaido, para precisar de menos y menores terraplenes o incluso eliminarlos, pasando a una vía que consiste prácticamente en túneles y viaductos sencillos, de forma que los trazados de Alta Velocidad japoneses actuales en las zonas montañosas son prácticamente un largo túnel con algún viaducto intermedio, y los trenes podrán en consecuencia circular a su velocidad de diseño, sea ésta 300, 350 o pronto 400 km/h.

El Joetsu Shinkansen es un buen ejemplo de cómo ha eliminado Japón los terraplenes, cuyos descensos postconstructivos y deformaciones impedían poner vía en placa. En el trazado no hay prácticamente estructuras de tierra. El tren, o circula en túnel sin molestar o circula elevado en estructuras sencillas, resistentes a los sismos, y de coste reducido (Ref.32), figura 7. Ello elimina los problemas derivados de los terraplenes (Ref.21) y el autor cree que hubiera sido sin duda una excelente solución para permitir los cultivos en zonas de suelo muy rico como en la huerta de Valencia donde los terraplenes proyectados no lo permitirán. Los terraplenes absolutamente necesarios suelen hacerse en Japón armados, con geotextiles y técnicas similares a la tierra armada (Ref.33), de paredes verticales protegidas por muros delgados, y se ha demostrado que además de ocupar menos superficie (tema de enorme importancia en Japón) son más resistentes a los terremotos, figuras 8 y 9 (Ref.26 pag.111).

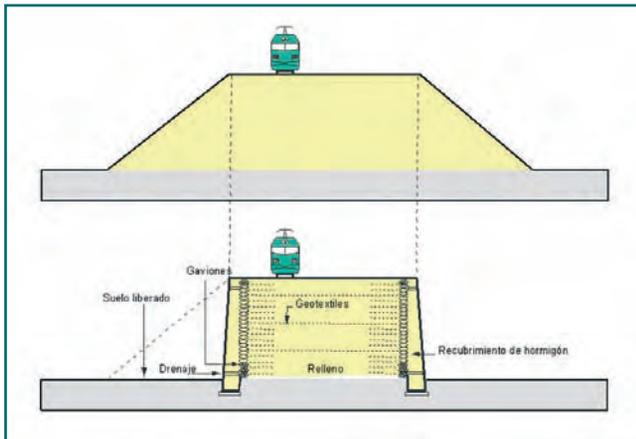


Fig. 8. Solución para los terraplenes necesarios en Alta Velocidad en Japón (Suga, Ref.29).

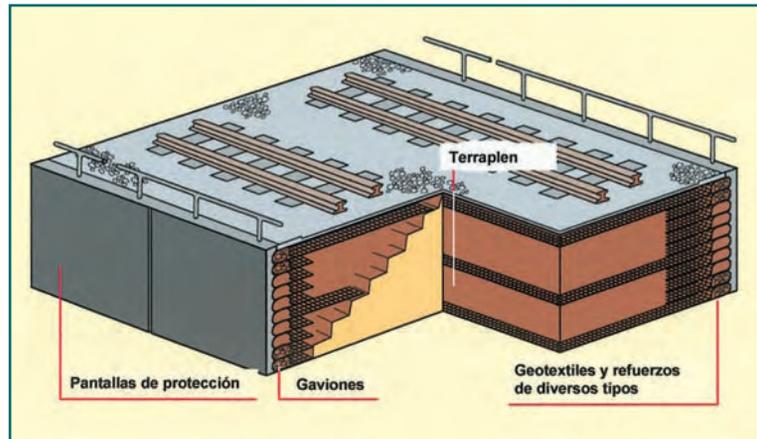


Fig. 9. Esquema de tratamiento de los terraplenes necesarios en Alta Velocidad en Japón

Frente a lo que pudiera pensar el lector Ingeniero de Caminos, el confinar de este modo las tierras cosidiéndolas con geotextiles y flejes como la tierra armada no tiene una gran influencia sobre los descensos, estos no disminu-

yen apreciablemente. Eso sólo ocurriría si el coeficiente de Poisson fuera 0.5 y el relleno fuera en consecuencia totalmente incompresible. Una simple comprobación con un modelo numérico sencillo basta para despejar las du-

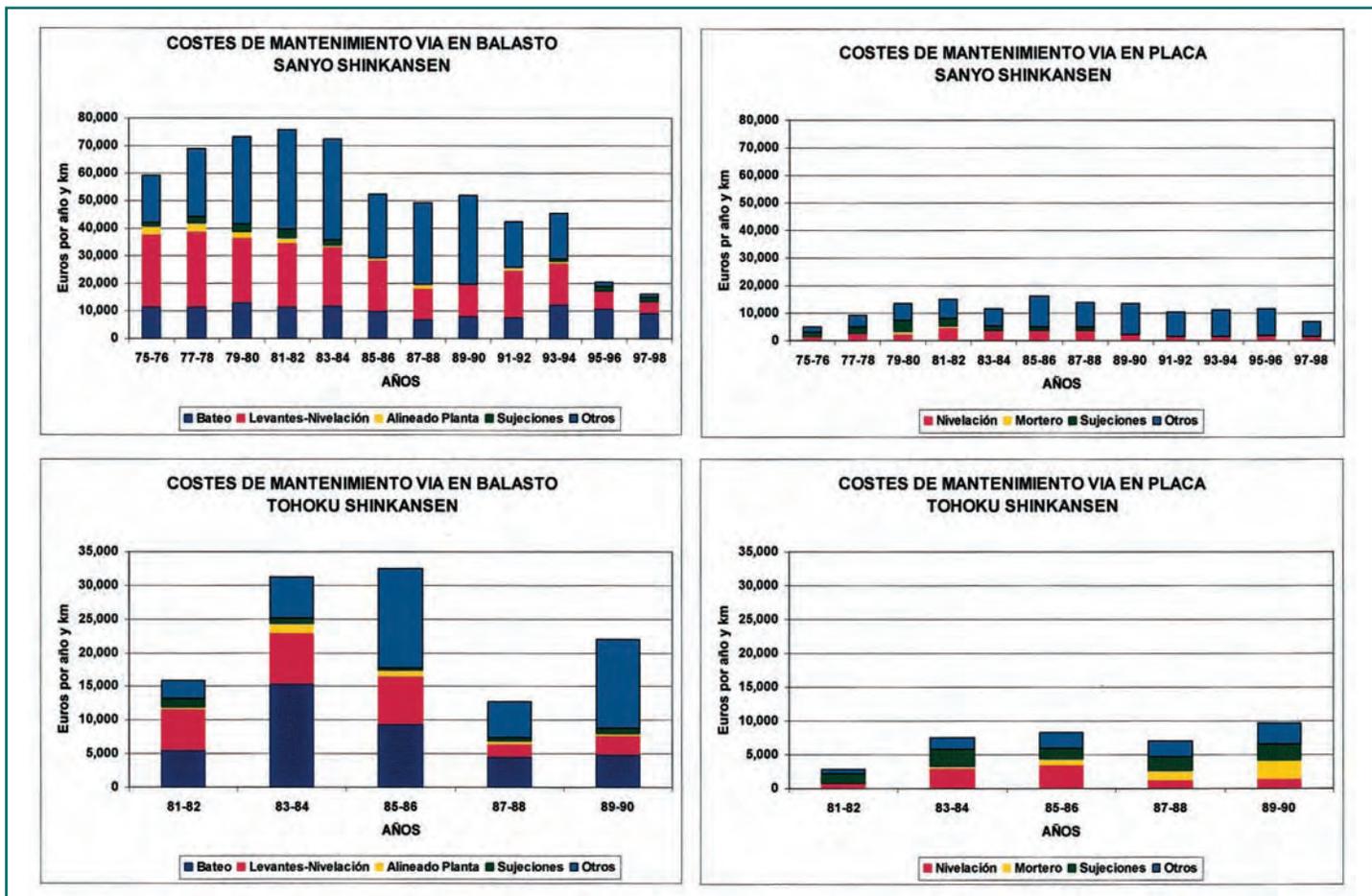


Fig. 10. Comparación de costes de mantenimiento de vía en balasto y en placa en el Sanyo y Tohoku Shinkansen en Euros por año y kilómetro de vía doble (Refs.34 a 36).

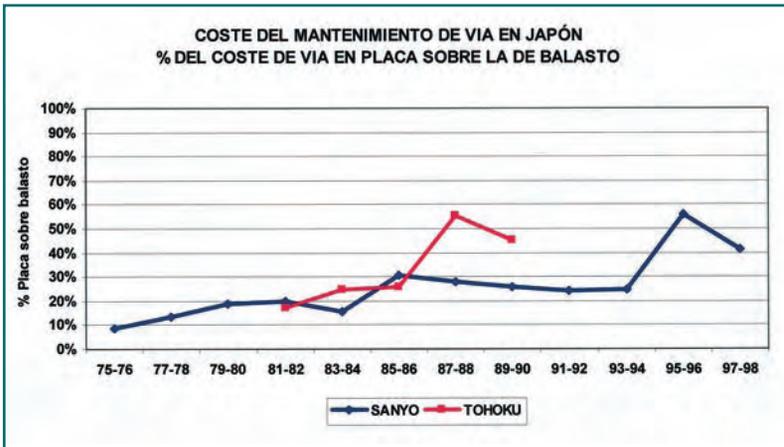


Fig. 11. Porcentaje del coste de mantenimiento de la vía en placa sobre la de balasto en los Sanyo y Tohoku (Refs.34 a 36).

das del lector, y ello se debe probablemente a que los fal-dones o taludes de un terraplén normal producen sobre el núcleo un efecto similar de confinamiento. Pero sí que tiene un efecto muy beneficioso en cuanto a la mucha menor ocupación de terreno, importante en zonas de cultivo, y a la falta de mantenimiento, ya que el relleno está totalmente protegido y cubierto y no es afectado por los agentes atmosféricos.

Fig. 12. Alta Velocidad en Taiwan.



Los costes de mantenimiento de vía en balasto del Tokaido y los tramos que hay en el Sanyo y de la vía en placa del resto de la red japonesa son los siguientes, según los datos dados al autor por los responsables de la dirección de vía de la JARTS (Japan Railway Technical Service) y la JRTT (Japan Railway Construction Transport and Technology Agency, Ref.34,35,36). Los gráficos comparados, dados en millones de Yen por año y kilómetro, han sido pasados por el autor a euros al cambio de 142.7 Yen por euro.

Puede observar el lector que en general los costes de mantenimiento de la vía en placa son del orden de la cuarta parte del de la vía en balasto, salvo en un año en cada tramo en que subieron hasta el 50%. El autor no tiene aún información detallada de las causas de ese aumento relativo en 1987 y 1995, que podría deberse a una disminución puntual de los bateos y amolados, y que ha solicitado a los responsables japoneses.

2. La Alta Velocidad en Taiwan, vía en placa

La línea de Alta Velocidad Taipei-Kaohsiung, de 345 km es la primera construida en Taiwan. Se ha diseñado para una velocidad de 300 km/h, y así el trayecto se hará en 90 minutos en lugar de las 4 a 6 horas actuales. La línea, cuya fecha inicial de entrada en servicio era Octubre 2005, lo hará probablemente en Octubre 2006, bajo un contrato BOT a un consorcio de 7 empresas japonesas. Tiene 39 km de túneles y 251 km de viaductos, de los cuales uno tiene 157 km de longitud, y es hoy el más largo del mundo (Ref.37). Toda la línea es de vía en placa, tipo Shinkansen en vía y Rheda en las estaciones (Ref.38). Los 42 túneles tienen longitudes que varían entre los 92 m y los 7.360 m con sección de excavación de hasta 155 m2 y sección libre de 90 m2 (Ref.39). Los modelos numéricos de la excavación se han hecho con el software de diferencias finitas FLAC y la excavación con el NATM y en opinión del autor estos peligrosos métodos de diseño y construcción de túneles en rocas blandas sin estudiar la estabilidad del frente ha llevado a colapsos y hundimientos conocidos en algún túnel como el de Hukou, de 4.3 km (Ref.40,41,42).

3. La Alta Velocidad con vía en balasto: Francia, Italia, Corea

3.1. Francia

Diecisiete años después de la puesta en servicio del Tokaido en 1964, Francia inauguró su primera línea de Alta Velocidad en Septiembre de 1981, la París-Lyon, tramo St. Florentin - Lyon Sathonay. El tramo Combs-la-Ville (París) - St.



Fig. 13. Alta Velocidad en Francia.

Florentin se abrió dos años después, en septiembre de 1983. La línea mide 538 km, y se construyó en balasto, con 11 tramos de pendientes máximas de 35 milésimas (que suman cerca de un centenar de kilómetros) frente a las 8 milésimas máximas de la línea antigua, y para una velocidad de 270 km/h, hoy 300 km/h. No tiene ningún túnel. Hoy, 25 años después de esta primera línea europea, el triunfo de la Alta Velocidad en Francia es indiscutible, ha cambiado la concepción del ferrocarril en toda Europa y suele considerarse que para recorridos de hasta unos 1.500 km ha desbancado o desbanca al avión (Ref.43), aunque en 1970 el representante de la aviación civil francesa intentaba parar los proyectos de alta velocidad ferroviaria diciendo que los aviones de despegue y aterrizaje vertical habían resuelto los problemas del transporte de masas (Ref.44).

A continuación de la París-Lyon se abrió en Francia la línea Atlántica, de París a Le Mans, en Octubre de 1989, con 282 km y también en balasto. El tramo a Tours se abrió en Octubre de 1990 con pendientes máximas de 25 milésimas y velocidad de 300 km/h. La línea Nord-Europe de París al Canal de la Mancha, vía Lille, de 333 km de longitud abrió en Mayo de 1993, con balasto y también con pendientes máximas de 25 milésimas y velocidad máxima de 300 km/h. El tramo Lille-Bruselas se abrió el 23 de mayo de 1996, para una velocidad máxima de 300 km/h (Ref.45). La línea Rhone-Alpes entre Lyon y Valence, de 115 km, prolongación de la París-Lyon, abrió su primer tramo de 42 km el 13 diciembre 1992, y el resto, 73 km, el 3 de julio de 1994. Tiene radio mínimo 4.000 m, pendiente máxima 35 milésimas, entrevía de 4.2 m, cuatro túneles con una longitud total de 5.3 km, toda la vía en balasto y está diseñada para una velocidad máxima de 300 km/h con el último tramo para 320 km/h.

La continuación a Marsella, la línea TGV Méditerranée, de 250 km, se abrió el 7 de junio de 2001, luciendo Francia todos sus trenes: los Thalys multitensión-multiseñalización, los magníficos TGV Duplex de 2 pisos, el normal Réseau y el Eurostar del Canal con sus 18 coches (Ref.46). La descripción de esta obra extraordinaria puede verse en diversas publicaciones (Ref.47). La línea tiene 9 viaductos grandes, 16 corrientes (Ref.48) y 8 túneles o falsos túneles, de los que los más importantes son el de la Galaurie (2.686 m), Tartaignuille (2.340 m) y el túnel y falso túnel de Marsella (7.834 m, el más largo de la red francesa tras La Mancha), túneles de 100 m² de sección libre y 4.8 m de entrevía para 300 km/h y 63 m² libres para 230 km/h (Ref.49,50,51). La vía, como todos los TGV, tiene carriles UIC 60 sobre traviesas bloque a 60 cm con sujeción Nabla, salvo dos tramos de 5 km en que se colocaron clips Vossloh y el fastclip de Pandrol, todo ello sobre 2.4 millones de m³ de balasto (Ref.52). El 17 de Octubre del 2000 circuló el primer TGV a 350 km/h por el túnel de Tartaignuille (Ref.53), y el sábado 26 de Mayo de 2001 se preparó un TGV que desde el Canal de la Mancha hasta Marsella (1.067 km) hizo el recorrido en 3h:29m, a una velocidad media de 306 km/h y una velocidad máxima de 367 km/h (Ref.54). Hoy en 2006 el TGV Dúplex 6117 hace el recorrido París-Marsella en 3h:00m lo que para los 780 km da una velocidad comercial real de 260 km/h.

La próxima línea será la LGV Est, de París hacia Alemania, 400 km hasta Estrasburgo (Vendenheim) prevista para 2010 hasta el final. Las obras del primer tramo de 300km hasta Baudrecourt (baricentro de Nancy, Metz y Sarrebruck) comenzaron el 28 de enero de 2002 y el tramo, que ha tenido muchas discusiones (Ref.55), entrará en funcionamiento en 2007. La vía es también en balasto, el trazado tiene 5 túneles cortos con una longitud total inferior al kilómetro, y la velocidad máxima de diseño es de 350 km/h, aunque la explotación comenzará probablemente a 320 km/h (Ref.56). Y en estudio, planificación o proyectos están muchas otras líneas como la LGV Rhin-Rhone que conectará la París-Lyon y Marsella con Colonia y Zurich vía Estrasburgo (Ref.57).

El Schotterflug o vuelo del balasto con la Alta Velocidad

Los trabajos de investigación sobre el balasto y la vía de alta velocidad en balasto y en placa son constantes en Francia desde hace muchas décadas (Ref.,58,59,60), donde se ha creado incluso un proyecto europeo para su estudio, el Proyecto Euroballt (Ref.61), de forma que la decisión de construir sus líneas en balasto tiene sin duda una base técnica profunda. Si el balasto no sirviera para velocidades de hasta 300 km/h, es evidente que Francia habría decidido instalar sus últi-

mas líneas con vía en placa. Informa Claude Thomas (Director del Departamento de Mantenimiento de la SNCF en 1991) en su trabajo de la Ref.62 que con los pesos por eje de 17t del TGV y sus masas no suspendidas, la explotación era permisible a 300 km/h cuidando especialmente los defectos de vía de longitud de onda de 1 a 2 m y con pads bajo patín de 9 mm en lugar de los 4.5 mm usados hasta entonces. También España circula a 300 km/h en el AVE de Sevilla en los 8.5 km de la recta del pk 103+385 sin novedad desde hace 14 años. Pero, como indica la revista Rail & Recherche (Ref.63), tras 23 años de estudios y análisis la SNCF tiene ya una idea muy clara de los esfuerzos y tensiones que la Alta Velocidad impone al balasto. Y a velocidades mayores de 300 km/h parece que, además de su desgaste y deterioro rápidos, los problemas del vuelo del balasto son insuperables. En las pruebas finales del TGV Mediterranee comentaba el Director de Ensayos Yves Sarrazin (Ref.64) "Le plus gros souci, c'est le ballast qui n'est pas encore stabilisé. Il vole, abîme des cables ou des capteurs à l'extérieur de la rame, ou encore les tôles sous la caisse. On répare en rentrant sur Marseille". La SNCF ha creado el llamado sistema Ivoire (Ref.65) para analizar en tiempo real los daños al carril y llantas por las piedras del balasto que caen entre ellos. El sistema está basado en el proceso de imágenes digitales de la cabeza del carril tomadas con una cámara lineal de altísima velocidad, y dice Riollet que aunque en general estas huellas de balasto crean vibraciones de la rueda, ruido y falta de confort, algunas de ellas son muy importantes y es necesario repararlas o corregirlas inmediatamente. La autora, por centrarse en la cabeza del carril, no cita el golpeo del balasto a los trenes en su trabajo, pero sí lo citan diversos otros trabajos, como Jakob (Ref.66), que indica cómo hubo que tratar el balasto de relleno de los huecos de la placa con un material elastomérico en nueve túneles del Colonia-Frankfurt, los relativos a la homologación de material móvil en vías con balasto a Alta Velocidad mayor de 300 km/h en Francia (Ref.67,68,69,70) o incluso los proyectos de investigación de la DB sobre el tema (Ref.71). Otras de las causas más importantes del schotterflug parecen ser los remolinos formados tras cada bogie, y la magnitud del problema depende de la separación entre éstos, de su diseño y de la separación entre las cajas de los coches y su diseño, y en segundo lugar la caída de los bloques de hielo que en las zonas muy frías –especialmente en el Joetsu japonés y en Alemania (Ref.72) - se forman en los bajos del tren. El autor dispone de alguna información (Ref.73) que indica que ninguna de las Administraciones Ferroviarias europeas (SNCF, SNCB, DB) tiene una idea clara de las causas de la aspiración y vuelo del balasto a velocidades superiores –incluso tan bajas co-

mo - a 220 km/h, pero no conoce ninguna publicación ni resultado oficial de las pruebas que se están realizando en España con los nuevos trenes. Entre los proyectos franco-alemanes de investigación ferroviaria llamados Deufrako se ha incluido el denominado AOA (aerodynamics in open air) que estudia, además del problema de la estabilidad del tren con viento lateral, el problema del schotterflug con la participación de las empresas DB, SNCF, Siemens, Bombardier, Alstom, Trenitalia, RFI, AEA Technology y CAF, pero el autor no sabe si participan también RENFE y ADIF. Según las informaciones recibidas por el autor se han realizado ya hoy ensayos a escala reducida (1:7) en túnel de viento en la Universidad Técnica de Berlín para la zona de los bogies de un determinado tren y medidas de velocidad, turbulencia y los tensores de tensiones de orden superior del flujo en esta zona mediante método no intrusivo LDA (Laser Doppler Anemometry). Se han realizado también ensayos a escala real a la altura del balasto en la Red Italiana al paso de diferentes trenes y medidas de velocidad y turbulencia mediante métodos basados en presiones, termo resistencias, y anemometría ultrasónica. Se han realizado simulaciones con software de Computacional Fluid Dynamics (CFD) de ensayos a escala reducida para validación de metodologías en la zona de bogies y el cálculo del flujo en el ensayo mediante métodos de promedio de ecuaciones – RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) y métodos semi-transitorios – DES (Detached Eddy Simulation). En la actualidad, y según las mismas informaciones recibidas por el autor (Ref.74) los trabajos en curso en Europa son la preparación de ensayos a escala reducida (1:25) en túnel de viento para estudio del movimiento y levantamiento de piedras de balasto y la preparación de ensayos a escala real con ballesta lanza proyectiles para estudio del impacto de piedras de balasto en otras piedras, así como las simulaciones numéricas CFD-RANS para la determinación de un coeficiente de fricción equivalente para el conjunto balasto-travesía-carril y la preparación de mallados para simulaciones de gran calibre CFD (RANS, DES) para el estudio del flujo real bajo el tren. El autor espera poder informar pronto al lector de los resultados que se vayan obteniendo.

Resultado del balasto en la vía de Alta Velocidad en Francia

El 18 de mayo de 1990 Francia batió todos los records de velocidad del ferrocarril en la vía de balasto cerca de Vendome, en la línea del TGV Atlantique, consiguiendo llegar a los 515.3 km/h durante unos minutos con la hoy famosa unidad TGV 325. Diez años después esa misma unidad, después de haber recorrido más de 3 millones de

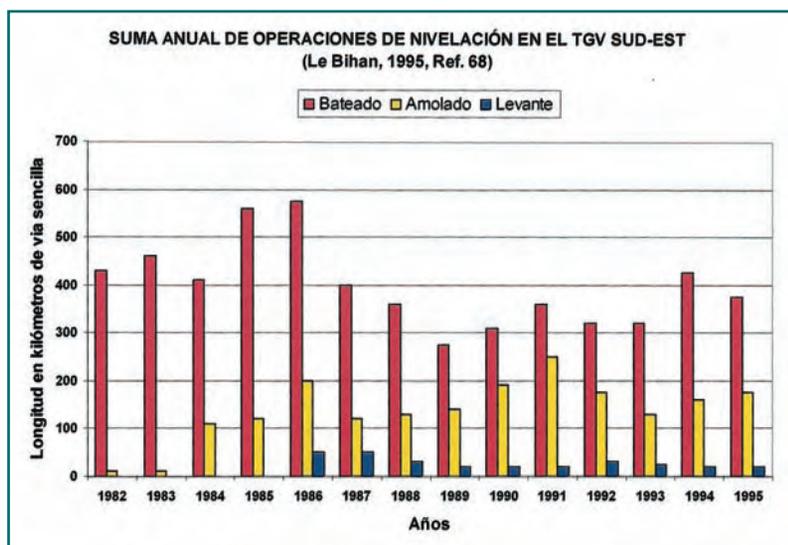


Fig. 14. Mantenimiento de la LGV París-Lyon (Le Bihan, 1996, redibujada).

km en servicio comercial, llevó a los invitados a la celebración del aniversario (Ref.75). Pero la realidad de los hechos es que la primera línea de Alta Velocidad francesa, la París Sud-Est a Lyon, ha durado escasamente 14 años y que la TGV Atlántique ya necesitaba sustituir el carril hace 3 años (Ref.76). Pese a los continuos trabajos de mantenimiento de las líneas de Alta Velocidad en Francia (Ref.77), esta línea que se puso en servicio en 1981 (el tramo sur) y 1983 (el resto), tenía en 1995 el balasto y los aparatos de vía en tal estado que la SNCF decidió su renovación completa (Ref.78) antes de la entrada en servicio de los tramos Lyon-Valence y Valence-Marsella en 2001. Indica Orsi en la referencia citada que al construir la línea en 1980 se había decidido montar la vía en balasto -además de lo indicado por Thomas- fundamentalmente por su menor coste con respecto a la vía en placa y por permitir una capacidad de intervención rápida y eficaz en caso de evolución desfavorable de las características geométricas de la vía. Al cumplirse los 15 años de la puesta en servicio del París-Lyon, Andre Le Bihan, durante muchos años Director de Vía y Aparatos de vía en la SNCF, publicó (Ref.79) las experiencias del comportamiento de la vía en ese periodo. El mantenimiento se realiza por nivelaciones sucesivas con bateo, junto con amolados del carril. Indica que incluso en tramos de vía con geometría y tráfico idénticos los comportamientos de zonas puntuales pueden ser muy diferentes debido a las características reales de su balasto y su envejecimiento y ello lleva a evoluciones muy diferentes de la degradación de su geometría, lo que exige métodos de mantenimiento específicos. Indica también que una frecuencia excesiva del bateo acelera la degradación del balasto y no tiene efectos reales duraderos. Presenta los datos de bateos del balasto, amolado del carril y le-

vantes de vía en la figura 14: en los primeros años de la puesta en servicio el bateo fue frecuente e intenso, hasta el 60% de la línea, sin mucho beneficio. Se decidió, indica, tratar las causas reales del deterioro de la vía, y puede verse que cuando comenzaron las operaciones de amolado del carril las degradaciones de geometría y por tanto las necesidades de bateo disminuyeron mucho.

Cuando estas intervenciones son insuficientes se hacen levantes de la vía inyectando un espesor de 10 a 15 cm de balasto en la zona bateable, y así los siguientes bateos y nivelaciones vuelven a tener alguna eficacia. Pero indica Le Bihan (e insiste Orsi 4 años después) que también estas operaciones tienen sus límites, porque además de que pueden llegar a deformar gravemente el perfil del trazado, no permiten restablecer totalmente el funcionamiento adecuado de las capas de asiento, y que finalmente hay que renovar totalmente el balasto. Bajo las cargas de los TGV (AVE), de 52 ejes de 17 t en 5 segundos, indica Orsi que las piedras del balasto se disgregan, los ángulos y aristas se redondean, el polvo formado colmata los huecos, reduce el necesario rozamiento interno del balasto, y además impide su adecuado drenaje. También los aparatos de vía tuvieron que ser cambiados a los escasos 15 años de servicio, sustituyendo las traviesas de madera por otras de hormigón, los perfiles de las agujas, y varios otros elementos que habían llegado a su obsolescencia técnica. Indica Rodríguez Andrade que desde la puesta en servicio los trabajos de bateo son constantes, los primeros lo dados por Le Bihan hasta 1995, pero que los años siguientes también las longitudes bateadas fueron similares, de unos 350 km como media cada año (Ref.80). Finalmente, y ante la inutilidad práctica de estos trabajos de mantenimiento, la renovación de los 2 millones de toneladas de balasto y 63 aparatos de vía comenzó en Marzo de 1996 (Ref.81), tuvo que hacerse sin afectar al servicio, y la parte más importante se llevó a cabo a lo largo de 5 años, de 1995 a 2000, con un coste del orden de los 375 millones de euros. El balasto del París-Lyon ha durado lo mismo que el del Tokyo-Osaka, un poco más de 12 años. El enorme peso económico del mantenimiento de la vía en balasto es un problema ampliamente discutido en Francia (Ref.82). Los defensores de la vía en balasto en España argumentan siempre que el balasto del París-Lyon era de baja calidad (parece que se colocó en el tramo o en parte un microgranito rojo de una cantera de Thouarsais, de hecho la calidad global que mide la SNCF por el índice de dureza DRG -basado en Los Angeles y Deval -ver el detalle en la Ref. 83-, se aumentó hasta 20 para el TGV Atlántique), y que en Sevilla y Zaragoza durará más de estos 14 años, ya que además el tráfico de las líneas es me-

nor que el de París-Lyon. Un interesante estudio sobre los trabajos de renovación del París-Lyon es el presentado por Gimeno Aribau en su Tesina de final de carrera en la ETS de Caminos de Barcelona bajo la dirección del Prof. López Pita (Ref.84).

3.2.- Italia

Italia está en estos momentos con una enorme expansión de su red de Alta Velocidad, construyendo los 630 km de las nuevas líneas Turín-Milán-Nápoles, la adaptación de los 253 km de la Direttissima Roma-Florenia y los nuevos 300 km entre Milán-Venecia y Milán-Génova (Ref.85). La Direttissima Roma-Florenia tiene 253.6 km de longitud y vía en balasto, su primer tramo se abrió el 24 de febrero de 1977 y en su totalidad en 1978. Hoy los trenes circulan a 250 km/h. El tramo Roma-Nápoles de 204 km, también en balasto, se puso en servicio el 12 de diciembre de 2005, tras 12 años de trabajos. Tiene 268 terraplenes con un total de 74 km, 33 túneles, de los que el más largo es el Colli Albani de 6.6 km, y 77 túneles artificiales con un total de 38 km, 88 viaductos con 39 km y 192 desmontes con 52 km (Ref.86). La pendiente máxima es 21 milésimas, el radio mínimo 5.450 m y la velocidad de diseño es de 300 km/h (Ref.87). El tramo más espectacular hoy en construcción en Italia, probablemente el más espectacular de Europa, es el cruce de los Apeninos, el Florenia-Bolonia, de 78.5 km de los que 73.3 son túneles, probablemente los más famosos de la Alta Velocidad europea. Todos los túneles se construyen por el método ADECO-RS, del Prof. Lunardi, que como el lector sabe consiste básicamente en un NATM a plena sección con la esta-

Tabla 10. Túneles del Florenia - Bolonia					
Túneles de Alta Velocidad Bolonia - Florenia					
Túnel	Longitud m	Ataques	Comienzo	Cale	Metros/mes
Pianoro	10,293	6	14-abr-97	15-jun-05	103.5
Camerone	418	2	Sin datos		
Sadurano	3,767	2	28-nov-96		
M. Bibebe	9,101	4	25-nov-96		
Raticosa	10,367	6	19-dic-96	06-dic-01	171.5
Scheggianico	3,535	6	24-abr-97		
Camerone P.M.	734	2	Sin datos		
Firenzuola	14,327	10	03-jun-97	09-dic-04	156.5
Borgo Rinzelli	455	2	27-ago-97		
Morticine	274	2	22-oct-97		
Vaglia	18,345	10	27-jun-96	21-oct-05	161.7

bilización del frente por medio de bulones de fibra de vidrio inyectados (Ref.88,89) y que ha llevado a unos avances mensuales muy bajos, similares a los de los túneles alpinos del siglo XIX (Ref. 90, Tabla 2).

El túnel de Raticosa se caló el 6 de diciembre de 2001, el de Firenzuola el 9 de Diciembre de 2004, el Pianoro el 15 de Junio de 2005 y el Vaglia el 21 Octubre 2005. El tramo incluye también 6 viaductos, de los que el mayor es el del río Sieve. Se espera que el tramo se ponga en servicio en 2008 (Ref.91).

Los tramos Milán-Bolonia, de 182 km y Turín-Milán de 124.5 km, todos en balasto, no tienen túneles, pero tienen numerosos terraplenes, unos 103 km el segundo (el dato de Savini para el primero debe ser erróneo). Los tramos Milán-Verona, de 110 km, Verona-Venecia de 100 km y Milán-Gé-

Fig. 15. Tramo Florenia-Bolonia, de la Alta Velocidad en Italia.

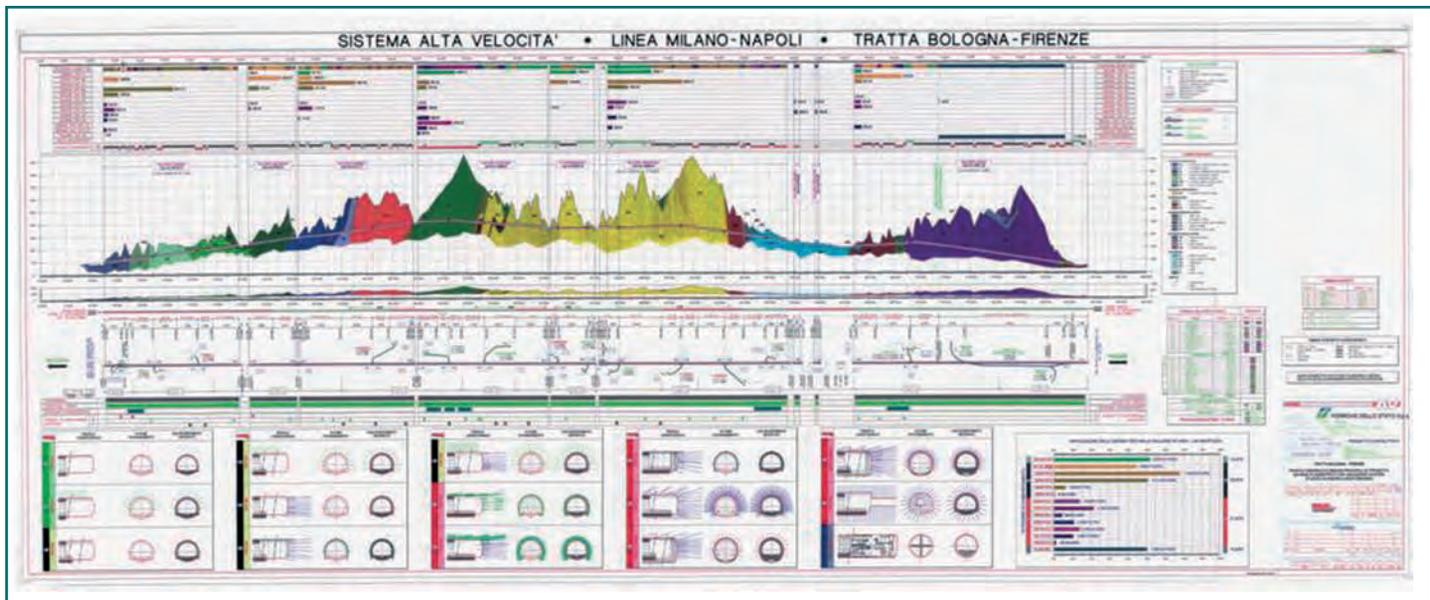




Fig. 16.- Alta Velocidad en Italia.

nova (el Terzo Valico, de 115 km con 36 km en túnel), están hoy en aprobación o estudio (Ref.92). Toda la vía de Alta Velocidad italiana es de balasto, y el autor no tiene datos sobre si se prevé instalar vía en placa en los próximos tramos. Probablemente dependerá de la evolución del problema del vuelo del balasto.

3.3. Corea del Sur

El 30 de Marzo de 2004 se puso en servicio el primer tramo de 223.6 km entre Seoul y Daegu de la línea de Alta Velocidad Seoul-Pusan (412 km), bajando el tiempo de viaje de 4h 10m a 2h 40m. Esta línea se ha diseñado para una velocidad máxima de 300 km/h, con radios mínimos de 7.000 m, rampa máxima de 25 milésimas y entrecía de 5 m entre



Fig. 17.- Alta Velocidad en Corea.

ejes (Ref.93,94). Tiene 84 túneles con una longitud total de 189 km y 143 viaductos con 109 km de longitud total (Ref.95). Prácticamente la mitad de la línea es en túnel. La vía es de balasto. El Project Management de la nueva línea ha sido de Eurokorail, formado por Alstom y otras 12 empresas francesas, con otras 5 coreanas (Ref.96). Dado el enorme prestigio de Francia en Alta Velocidad, Corea también seleccionó los trenes y la tecnología francesa, y hoy circulan por la nueva línea 46 ramas Alstom de 387 m de longitud, capaz de transportar 935 pasajeros cada uno. Hay 92 expediciones al día en cada dirección, que circulan hasta a 300 km/h.

4. La Alta Velocidad europea con vía en placa: Alemania

La inmensa red ferroviaria alemana son hoy 38.500 km que quedaron destrozados en 1945 y que volvieron a ponerse en servicio en muy pocos años. Es la mayor red de Europa, frente a los 29.200 km de Francia, los 16.000 de Italia o los 12.800 de España. Los trenes de Alta Velocidad alemanes, los IC e ICE (Intercity e Intercity Express) circulan a 280 km/h en los 625 km de líneas nuevas, a 200 km/h en los 1.200 km de vías adaptadas y a 160 km/h sobre la red antigua no adaptada a la Alta Velocidad (Ref.97). El avance de la red de Alta Velocidad comenzó al abrir en 1991 y 1992 los tramos de nuevas vías Hannover - Wurzburg (327 km, 60 túneles con 121.6 km de longitud) y Mannheim - Stuttgart (92 km), autorizados para circular a 280 km/h. Con ellos quedaban unidos con Alta Velocidad Hamburgo, Hannover, Fulda, Frankfurt, Mannheim, Stuttgart y Munich. En otoño de 1998 se abrió el tramo Berlín-Hannover, de 264 km, que permitió también a los ICE 2 en doble composición circular a 280 km/h - se dividen en Hamm y llegan a Colonia una rama por Düsseldorf y la otra por Wuppertal. Y en diciembre de 2002 se abrió la nueva línea Colonia-Frankfurt de 135 km (219 km incluyendo ramales y enlaces), que permitió bajar el tiempo de 2h:15 m a algo menos de 1h:00m (Ref.98). Esta famosa línea de Alta Velocidad es la primera dedicada en Alemania a un tipo exclusivo de tren, el ICE-3, tiene rampas máximas de 40 milésimas, y radios tan reducidos como 3.350 m debido al único corredor que por motivos medioambientales se le permitió utilizar, junto a la autopista A3, y acorta la distancia anterior en 45 km. Se espera que para 2010 transporte 25 millones de pasajeros año, el doble de los que transportaba la vía vieja. Tiene 30 túneles (Ref.99) (6 falsos túneles y 23 de 150 m2 de sección excavada de 13 m de altura y 12-15 m de ancho, 95 m2 libres, construidos con el NATM pero con pequeñas superficies de frente abierto, cuatro secciones, método patentado por la empresa austríaca ILF como vier-stollen), con un total de 47 km en túnel de los que el mayor es el Schulwald de 4.5



Fig. 18. Alta Velocidad en Alemania.

de longitud y 165 m2 de sección (Ref.100). Tiene también 18 viaductos con longitud total de 6 km. Toda la vía es en placa, diseñada para que el ICE pueda correr a 300 km/h (Ref.101,102). De hecho, por tener el 50% de sus ejes motores aunque tengan cada uno menor peso por eje que los trenes de tracción concentrada, es el único tren europeo actual que puede circular por esa línea a esa velocidad.

Los nuevos tramos de Alta Velocidad previstos son los Nuremberg-Ingolstadt-Munich (171 km, en pruebas, prevista para otoño 2006) (Ref.103), Nuremberg-Erfurt-Halle-Lepzig (280 km) y Karlsruhe-Frankfurt (125 km), aunque algunos se retrasen por motivos presupuestarios (Ref.104), lo que en Alemania no es tan grave por la extraordinaria red ferroviaria que posee. Todas las superestructuras son de vía en placa, y suelen instalarse siempre diversos tipos. En el Nurem-

Tabla 11. Túneles del Hannover-Würzburg de más de 2.000 m

	Long. m
Landrückentunnel	10,779
Mündener Tunnel	10,525
Dietershantunnel	7,375
Mühlbergtunnel	5,528
Hainrodetunnel	5,370
Rauhebergtunnel	5,210
Kirchheimtunnel	3,820
Richthoftunnel	3,510
Kreibergtunnel	2,994
Escherbergtunnel	2,906
Schalkenbergtunnel	2,829
Sengebergtunnel	2,807
Wildsbergtunnel	2,708
Kehrenbergtunnel	2,400
Altengronautunnel	2,353
Espenlohtunnel	2,235
Roßbergtunnel	2,160
Sinnbergtunnel	2,159
Schwarzenfelstunnel	2,100

Tabla 12. Túneles del Colonia-Frankfurt mayores de 1000 m (17 de 30)

	Long. m
Schulwald	4,500
Dernbacher	3,285
Niederhausener	2,765
Siegaue	2,502
Himmelberg	2,395
Limburger	2,395
Idsteiner	2,069
Frankfurter Kreuz	1,886
Eichheide	1,750
Fernthal	1,525
Deesener Wald	1,270
Aegidienberg	1,240
Breckenheim	1,150
Günterscheid	1,130
Ilfenbach	1,128
Elzer Berg	1,110
Lange Issel	1,015

Tabla 13. Evolución de la Alta Velocidad en Alemania (Missler, 2004, DB, comunicación privada)

Evolución de los trazados de Alta Velocidad en Alemania (Ref.93)				
	Hannover Würzburg	Hannover Berlín	Colonia Frankfurt	Nuremberg Ingolstadt
Año	1991	1998	2002	2006 (?)
Tráfico	Mixto	Mixto	Pasajeros	Mixto
Longitud km	327	263	177	89
% vía en placa	2%	34%	85%	85%
Túneles, % de longitud	35%	0%	19%	29%
Viaductos % de longitud	9%	1%	22%	1%
Radio mínimo, m	5,100	3,350	3,350	3,700
Peralte máximo, mm	90	160	180	160
Máxima insuficiencia peralte, mm	80	100	150	130
Rampa máxima, milésimas	12.5	12.5	40.0	20.0
Tipos de vía en placa utilizados		Rheda classic FFC ATD Züblin BTD-V2	Züblin Rheda classic Rheda 2000	Losas prefabricadas Rheda

berg-Munich se han instalado los tipos Rheda 2000, Bögl, y Rheda classic (Ref.105). Los responsables de la Alta Velocidad alemana tienen clara la conveniencia de utilizar los trenes nocturnos de mercancías en las vías de Alta Velocidad, lo que no sería posible con el mantenimiento nocturno del balasto como ocurre en Francia y otros países.

CONCLUSIONES

De este breve resumen y repaso, naturalmente no exhaustivo, a las líneas y redes de Alta Velocidad construidas o que se están construyendo en los diversos países el autor cree que pueden sacarse las conclusiones siguientes:

1.- Las dos primeras líneas de Alta Velocidad del mundo, el Tokaido Shinkansen y el Sanyo hasta Okayama, se construyeron con vía en balasto. Tras ponerlas en servicio, si embargo, se decidió inmediatamente que las siguientes serían con otro tipo de vía que no exigiera tan continuo y costoso mantenimiento, y el Sanyo Okayama-Hakata y todos los siguientes Shinkansen se construyeron ya con vía en placa. Esta decisión se tomó en los años 70, hace 30 años. Y eso se hizo sólo en base al coste del mantenimiento y las molestias que produce a la explotación, sin que aparezca todavía en la literatura el problema del vuelo del balasto sin duda porque a las velocidades iniciales del Tokaido ese fenómeno no se producía. La influencia japonesa en Taiwan ha hecho que la nueva línea de Alta Velocidad taiwanesa sea también con vía en placa. El balasto inicial del Tokaido duró escasamente 13 años.

2.- Alemania tenía toda su enorme red ferroviaria con vía en balasto, pero ya en los años 90 sacó a la luz los problemas que venían observando con el balasto para altas velocidades (Ref.107), y al comenzar sus explotaciones con velocidades cercanas a los 300 km/h pasó a utilizar la vía en placa que desde 1972 venía desarrollando con el Prof. Eisenmann. Hoy todas las nuevas líneas de Alta Velocidad alemanas son de vía en placa en sus distintos tipos, decisión que se tomó a finales de los años 90.

3.- Francia comenzó su Alta Velocidad con vía en balasto y sigue con él, y lo mismo ocurre en los países bajo su influencia técnica, como Italia, España o Corea. Pero en la Alta Velocidad el balasto dura muy poco, probablemente por los elevados esfuerzos dinámicos sobre la vía, que aumentan con la velocidad del tren. La vía en balasto de su primera línea Paris-Lyon ha tenido que ser totalmente renovada y cambiado todo el balasto y aparatos de vía a los 14 años de su puesta en servicio, con trenes circulando a velocidades menores de 300 km/h. Al problema del continuo y costoso mantenimien-

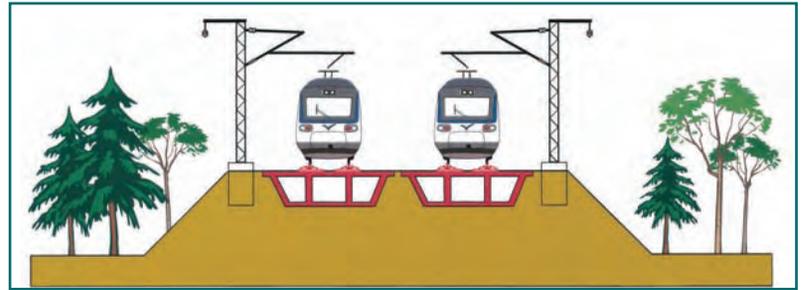


Fig. 19. Deck track o viaducto enterrado (a nivel o en pequeño terraplén).

to de esta vía se ha sumado otro que ha aparecido cuando los trenes han comenzado a circular a velocidades cercanas a los 300 km/h: el vuelo del balasto o schotterflug, del que no hay todavía datos suficientes ni se conoce en profundidad su importancia, pero que a altas velocidades destroza carriles, llantas y bajos, bogies y rodales de los trenes.

4.- Los descensos de los terraplenes no permiten la colocación de vía en placa sobre ellos, salvo que se adopten soluciones drásticas para reducirlos a unos 30 mm como piden las especificaciones de Japón y Alemania, y además para reducir los asentamientos diferenciales de la placa a los valores admisibles. Estas soluciones pueden variar desde el pilotar la superestructura de vía hasta la utilización del llamado deck track, el cajón enterrado que por su flotabilidad e inercia reduce mucho o evita el descenso de la vía y su deformación vertical (Ref.108,109) y que si es necesario posteriormente puede incluso también pilotarse. La altura del terraplén está limitada en Japón a 9 m.

5.- Los países montañosos han huído en la Alta Velocidad de la clásica sucesión de cortos túneles de pico con altos terraplenes y altos viaductos. Han bajado las rasantes y, como puede verse en los trazados de los Shinkansen Joetsu, Tohoku, Kyushu y los posteriores, los trazados modernos de Alta Velocidad en las zonas montañosas son hoy una simple sucesión de largos túneles, que llegan ya a superar los 15 o 20 km de longitud. En la práctica han hecho desaparecer los terraplenes y sus deformaciones y asentamientos.

6.- El autor ha citado en la primera parte de este trabajo alguna publicación española (Ref. 26) que sostiene que la vía en placa no es económicamente rentable durante al menos 60 años. Las cifras que dan los autores suponen que la vía en placa es 2.1 veces más cara de inversión inicial que la de balasto, y aplicadas por ejemplo a los 310 km de Madrid a Zaragoza, suponen un coste de construcción de 239 millones de Euros en balasto, frente a 503 para vía en placa, 264 millones más cara. Hacen la hipótesis de que la renovación de balasto y aparatos de vía es necesaria cada 30 años, que los costes de mantenimiento de la vía en placa son el 46% de los de la vía en balasto, y de esta forma llegan

a los 60 años citados como periodo durante el que la vía en balasto es más económica. El autor cree que deben revisarse estos cálculos con los costes actuales reales de balasto y placa, y teniendo en cuenta las experiencias francesa donde la renovación necesaria del París-Lyon a los 14 años ha costado 375 millones de euros (del año 2001) para 220 km (Ref.71) y la japonesa que tuvo que renovar todo el balasto del Tokio-Osaka en un plazo similar, lo que invalidaría esas conclusiones. Los datos de la vía japonesa dan el resultado de que a los 8.8 años de explotación la vía en placa ya es económicamente rentable (Ref.35). El autor no conoce los datos que justifican el enorme coste de mantenimiento que suponen los autores españoles para la vía en placa, porque los únicos datos españoles de que dispone son los de la vía en placa de Metro que dan valores mucho menores (entre el 25% y el 30%) en relación con el mantenimiento de la misma vía en balasto ya que realmente la vía en placa ni se mueve ni se deforma. El autor cree además que el citado estudio no tiene en cuenta lo más importante, es decir, que debido al schotterflug o vuelo del balasto la vía en balasto no sirve y es peligrosa para las velocidades de 350 km/h para las que se supone que se están diseñando nuestras actuales infraestructuras, como tantas veces se dijo en el Madrid-Barcelona.

7.- Naturalmente el problema del vuelo del balasto debe tratarse con suma delicadeza puesto que podría afectar a algunos determinados diseños de trenes favoreciendo a los de otros fabricantes, con las enormes repercusiones económicas consiguientes. Pero en opinión del autor esto no es así: las piedras del balasto son arrastradas por las corrientes de aire y los remolinos que se forman en los bajos del tren con velocidades enormes, superiores a 100 m/s, y esto es independiente del diseño del material móvil, porque modificaciones del diseño harán variar muy poco la magnitud del problema. Y si hay riesgos, lo que el Ingeniero de Caminos responsable debe hacer en opinión del autor es extirpar la raíz del peligroso problema eliminando la vía de balasto para la Alta Velocidad, como han hecho nuestros colegas japoneses y alemanes.

8.- En el caso del AVE de Zaragoza-Barcelona cuyos proyectos comenzaron en noviembre de 1993 y donde hace pocas semanas se ha autorizado al tren a llegar a 250 km/h se dice a veces que la causa de la baja velocidad es la señalización. Aunque será otro el momento y lugar de hablar de señalización ferroviaria y del ERTMS, el autor opina que, independientemente de este problema, el vuelo del balasto o schotterflug impedirá siempre a los trenes circular a la velocidad de 350 km/h con que se diseñó el trazado. Será necesario insular, antes o después, vía en placa en este importantísi-

mo corredor, así como en el AVE de Levante, tratando los terraplenes y cuñas de transición adecuadamente (con la línea en servicio, un duro y costoso trabajo) para evitar que los asientos rompan la placa.

9.- A la luz de todo lo anterior parece al autor que, si se desea una línea de Alta Velocidad con velocidades de 350 km/h como tantas veces se dijo, en lo que respecta al trazado es necesario:

- A. - Eliminar la vía en balasto e ir a vía en placa
- B. - Eliminar los terraplenes. En los casos en que sean imprescindibles, reducir su altura y longitud, preparar las soluciones para reducir sus descensos postconstructivos a menos de 3 cm, y eliminar los asientos diferenciales.
- C. - Ello exige a su vez bajar las rasantes, como se ha hecho en otros países, y construir túneles de base en las zonas montañosas, y mucho más largos (alguna decena de kilómetros) en lugar de los numerosos y cortos túneles de pico que se están proyectando. Esto a su vez permite mecanizar la construcción de los túneles, si bien Japón, Alemania, Italia, Francia, España, Corea y Taiwan construyen hoy todos los túneles de doble vía y por métodos manuales como el NATM en lugar de construir un tubo por vía y mecanizados con TBM.
- D.- Los túneles que acabamos de ver en estos países son todos de doble vía. Contra esto puede argumentarse el peligro que supone un descarrile o accidente de un tren a 350 km/h en el túnel si entra otro tren por la otra vía, pero el hecho es que Japón lleva 41 años con este tipo de explotación, Francia 25, España 14 y jamás se ha producido ningún accidente. La ventaja del túnel de doble vía es que su gran sección permite al tren circular a su velocidad de diseño, porque el fenómeno de la fricción tren-aire-túnel (en el lateral opuesto al hastial más cercano) no es tan importante como en los túneles más pequeños de una vía. La desventaja es que para esas enormes secciones (hasta 180 m² el de Tartaiguille del TGV-Med, por ejemplo) no existen todavía máquinas tuneladoras de 15 m de diámetro para roca, y aún deben construirse a mano. Las dos tuneladoras de 15.2 m del bypass sur de la M-30, trabajando actualmente en Madrid y preparadas para cambiar la cabeza de suelos a otra de roca, pueden ser una solución a ese problema.
- E.- Todo lo anterior obliga, en opinión del autor, a una profunda reflexión y reconsideración de los Estudios Informativos y de la insistencia en reducir el coste inicial de este tipo de infraestructuras, tratando por el contrario de estudiar y reducir el coste de su ciclo de vida útil.

10.- Se discute a veces si el tiempo de viaje (y por tanto la velocidad comercial) en la Alta Velocidad es importante o no lo es. Actualmente en algún país parece defenderse que no es necesario alcanzar velocidades de 350 km/h o superiores, y que es suficiente con lo que a veces se denomina Velocidad Alta, unos 200-250 km/h, para ahorrar dinero en la inversión inicial, diciendo en ocasiones que el tren de Alta Velocidad es un depredador de energía. Unos interesantes estudios actuales sobre el tema del consumo de energía son los últimos trabajos de García Alvarez (Refs.110,111). Pero basta estudiar las memorias de las diversas Compañías explotadoras de Alta Velocidad en otros países (Refs.5,13 y otras) para ver cómo tras alguna década de explotación ya plantean cuantiosas inversiones para ganar algunos minutos en los tiempos de viaje. El autor cree que lo mismo ocurrirá en España en los próximos años, y que los Ingenieros de Caminos jóvenes deben enfocar los trazados teniendo en cuenta este hecho y la enorme importancia futura de unos minutos en el tiempo de viaje, especialmente en trayectos como Madrid-Barcelona, Barcelona-Valencia y Sevilla, Madrid-Málaga, Barcelona-París, Madrid-París o Madrid-Galicia. Hoy todavía medimos los viajes en kilómetros, pero nuestros hijos y

nietos los medirán en minutos. El autor, que comenzó a trabajar como estudiante de 3º en 1966 bajo el Ministerio de D. Federico Silva, ha visto ya pasar y cesar a 16 Ministros de Obras Públicas, 11 Directores Generales de Carreteras, no sabe ya cuántos de Ferrocarriles, 14 Presidentes de RENFE, y opina que frente a instrucciones de ahorro en la inversión inicial, los Ingenieros de Caminos y especialmente los compañeros jóvenes Funcionarios del Cuerpo, de las Empresas Consultoras e Ingenierías españolas y también de las Empresas Constructoras deben tener en cuenta que las instrucciones cambian cada 4 años mientras que las infraestructuras que proyectamos y construimos los Ingenieros de Caminos estarán en servicio probablemente hasta el próximo siglo. Y que una vez están en servicio sus mejoras son casi imposibles por su enorme coste y la enorme afección a la explotación. Innumerables y serios conflictos –incluso ataques personales– sufrimos los Ingenieros cuando alguno de estos problemas debidos al ahorro en la inversión inicial sale a la luz pública, pero pese a ello el autor cree que así debemos hacerlo saber, respetuosa mas firmemente, a nuestros sucesivos superiores jerárquicos o altos cargos de cada 4 o menos años. ♦

Referencias:

1. "World's fastest train launched" International Railway Journal, Ago 2005, pp.3
2. "Record de vitesse" Le Rail, Sep 1996, pp.47
3. Takahashi, K (Director, JART) Comunicación privada al autor, Abril 2006
4. "Le redressement spectaculaire du rail japonais", Le Rail, Sep 1994, pp 16-17
5. JR Central. Annual Report 2005
6. Shima, Hideo "Birth of the Shinkansen - A memoir", Japan Railway & Transport Review, Oct 1994, pp 45-51
7. Keseljevic, C "Le Tokaido Shinkansen fête ses 40 ans 1964-2004", Le Rail, Nov 2004, pp 24-26
8. Kasai, Y "Comment est né le Shinkansen", Le Rail, Nov 2004, pp 28
9. Sunaga, M "Characteristics of embankment vibrations due to high-speed train loading and some aspects of the design standard for high-speed links in Japan", Geotechnics for Roads, Rail Tracks and Earth Structures, ETC 11 of ISSMGE, Amsterdam, 2001, Balkema, pp 203-211
10. Wakuda, Y "Railway Modernization and Shinkansen" Japanese Railway History 10, Japan Railway & Transport Review No. 11 pp.60-63
11. "Opening of Tokaido Shinkansen Shinagawa Station" Japan Railway & Transport Review, 37 pp.54-55
12. Tanaka, H "Tokaido upgrade to beat air competition". Railway Gazette International, Abr 2003, pp 199-202
13. JR West. Annual Report 2004
14. JR East. Annual Report 2005
15. "Tohoku Shinkansen extended". Railway Gazette International, Ene 2003, pp 6
16. Yamahi, Hitoshi "Iwate-Ichinohe tunnel on the Tohoku New Trunk Line", Sumitomo construction, Journal of JSCE, , 1999 pp 18-22
17. Sumito Nagai "The Iwate-Ichinohe Tunnel in the Tohoku Shinkansen Railway Line", Japan Railroad Construction Public Corporation, Second Civil Engineering Conference in the Asian Region (2nd CECAR), The Asia Civil Engineering Coordinating Council (ACECC), Tokyo, April 16-19, 2001.
18. Tanaka, K, Ichijo, M "Rational excavation of swelling ground in a long hard rock tunnel" Tunnels for People, Rotterdam 1997, Balkema, pp.261-266.
19. 2005 Agence France Presse, 27 Feb 2005
20. Melis, M "Terraplenes y balasto en la Alta Velocidad ferroviaria" Revista Obras Públicas, nº 3464, Marzo 2006, pp. 7-36
21. "Hayate sets Joetsu record". Railway Gazette International, May 2003, pp 244
22. Mizuide, H, "Highly Integrated Technology: The construction of Kyushu Shinkansen", Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency (JRJT), 2004
23. Smith, M "Face crushing on Kyushu" World Tunneling, Abr 1999, pp 118-121
24. Miura, S., Takai, H et al "The Mechanism of railway tracks". Railway Technology today 2, Japan Railway and Transport Review, Mar 1998
25. Sato, Yasuko "La voie au Japon". Le Rail, May/Jun 1996 pp 30-34
26. Puebla, J, et al "Para altas velocidades ¿Vía con o sin balasto?". ROP 3401, Sept 2000, pp 29-40
27. Seki, M "Managing maintenance on the Tokaido Shinkansen". Railway Gazette International, Ago 2003, pp 503-505
28. Sunaga, M "Characteristics of embankment vibrations due to high-speed train loading and some aspects of the design standard for high-speed links in Japan", Geotechnics for Roads, Rail Tracks and Earth Structures, ETC 11 of ISSMGE, Amsterdam, 2001, Balkema, pp 203-211
29. Suga, Tatsuhiko "Japanese Railway Technology today" Railway Technology Research Institute RTRI, Japan, East Japan Railway Culture Foundation, 2001, pp 110
30. Motoki, H, (Director, JRJT), Comunicación privada al autor, Abril 2006
31. Sunaga, M "Characteristics of embankment vibrations due to high-speed train loading and some aspects of the design standard for high-speed links in Japan", Geotechnics for Roads, Rail Tracks and Earth Structures, ETC 11 of ISSMGE, Amsterdam, 2001, Balkema, pp 203-211
32. JORSA, Japan Overseas Rolling Stock Association, 2004 jorsa.or.jp
33. Tatsuoka, F, Tateyama, M et al "Geosynthetic-reinforced soil retaining walls as important permanent structures" Geosynthetics International, 1997, Vol 4, pp 81-136
34. Mitsugi, K, Miyoshi, S (Directors, Int'l. Aff. Division, JRJT), "Slab track for 350 km/h", Comunicación privada al autor, Abril 2006

35. Motoki, H, (Director, JRJT), "Comparison of Maintenance costs, ballasted and slab track in Shinkansen, Japan", Comunicación privada al autor, Abril 2006
36. Toyama, H, y Nakamura, K (Assist. Directors, Track Division, JRJT), "Comparison of Maintenance costs, ballasted and slab track in Shinkansen, Japan", Comunicación privada al autor, Abril 2006
37. Brainshaw, D "Taiwan High-Speed Line On Course To Open In 2005 - High Speed: Far East" International Railway Journal, Oct 2002
38. Kwok-Hung, Lee "Tracklaying underway on Taiwan's first high speed line" Railway Gazette International, Ene 2004, pp 46-47
39. Townsend, B, Humphreys, P "Lining Taiwan's high speed link" Tunnels & T. Intl, Sep 2002, pp 50-54
40. "Collapse on THSRL" Tunnels & T. Intl, Ene 2003, pp 6
41. "THSRL recovery from recent falls" Tunnels & T. Intl, Feb 2003, pp 8
42. "THSRL cruises home" Tunnels & T. Intl, Oct 2004, pp 21-25
43. Girard, D "25 ans de grande vitesse". Le Rail, Dic 2005, pp 14-18
44. Protat, P "Quelques souvenirs sur la genese administrative du TGV". Le Rail, Feb 2004, pp 12-14
45. Schoupe, E "Une frontiere franchie a 300 km/h". Rail International Schienen der Welt, Jun 1996, pp 2-3
46. "Le jour du TGV Med". Le Rail, Jul 2000
47. Keseljevic, Ch "Les dessous d'un grand projet pour le 21eme siecle". Le Rail, Jul 2000, pp 7-15
48. Bousquet, Ch "La conception de viaducs en beton precontraint". Le Rail, Jul 2000, pp 40-43
49. Colomb, A "TGV Mediterranee. Le tunnel de Lambesc". Tunnels May-Jun 1998, p.223-229
50. Andre, D, Oget, C "TGV Mediterranee. Tunnel des Pennes-Mirabeau". Tunnels Jul-Ago 1998, p.313-318
51. Rannou, V, Andre, D "TGV Mediterranee. Tunnel de Marseille". Tunnels May-Jun 2000, p.145-158
52. Jourdan, A "Les enjeux de construction de la ligne nouvelle pour la SNCF". Le Rail, Jul 2000, pp 18-20
53. Tunnels Sep-Oct 2000, p.253
54. Escolan, T "Entre la mer du Nord et la Mediterranee". Revue Generale des chemins de fer, Sept 2001
55. Sivadriere, J "Les gares mal situees du TGV Est". Le Rail, Dic 2003, pp 8-9
56. "TGV heads east". Railway Gazette International, Mar 2003, pp 138-140
57. Duchemin, M "Le project de TGV Rhin-Rhone". Le Rail, Dec 1993, pp 43-44
58. Batisse, F "La Recherche ferroviaire : un aout ou un defi". Le Rail, Jun 1996, pp 16-19
59. Guerin, N, Huille, JP "Recherche sur la voie ballastee". Revue Generale des chemins de fer, Abr 1999
60. Vallet, D, Petit, Ch "Innovation dans la structure de la voie sans ballast". Revue Generale des chemins de fer, Feb 2000
61. Huille, JP "Le project Euroball". Le Rail, Jun 1996, pp 12-15
62. Thomas, C "10 ans de progres. L'infrastructure, la voie". Revue Generale des chemins de fer, Oct 1991, pp.51-56
63. "High speed is wearing !". Rail et Recherche n° 34. Ene-Feb-Mar 2005.
64. "TGV Med. 100 journalistes pour le essais de la star". La vie du Rail, 24 Ene 2001, pp 12-14
65. Riollet, AM, Brunel, Ph "IVOIRE La detection des empreintes de ballast sur lignes a grande vitesse a 300 km/h". Revue Generale des chemins de fer, Oct 2000
66. Jakob, A "Sichere Vefestigung von Schotterflaechen". Eisenbahningenieur 55, 1/2004, pp 20-21
67. Kirnich, P "Im Sog der Wirbelstrombremse. Der deutsche Schnellzug ICE 3 soll Mitte 2007 in Frankreich fahren / Die Tests brachten viele unerwartete Probleme". Berliner Zeitung, 21 Sept 2005
68. "Mühsamer Start im TGV-Reich" Frankfurter Rundschau, 30-Ago—2005
69. Daumüller, S "Die Vorbereitungen für den ICE-Regelbetrieb nach Frankfurt laufen auf vollen Touren" Bahntechnik DB, 03 - 2005, pp 20
70. "ICE-3-Zulassung in Frankreich vor dem Abschluss" Eisenbahn-Revue 10/2005 pp 472-473
71. "Verbundprojekt DEUFRAKO - AOA - Aerodynamics in Open Air Untersuchungen der Schienenfahrzeugaerodynamik zur besseren Beherrschung von Seitenwind und Schotterflug im Hochgeschwindigkeitsverkehr " Teilvorhaben Deutsche Bahn. BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2005-2007
72. Missler, M, DB Systemtechnik TZF 61, comunicación personal al autor, Oct 2004
73. Nota personal al autor, Septiembre 2004. Sin autorización para hacerla pública.
74. Giménez, G, (Cátedra FFCC Univ. Navarra, S.Sebastian), Nota personal al autor Mayo 2006.
75. Jorsí, JP "10eme anniversaire du record du monde de vitesse sur rail". Revue Generale des chemins de fer, Sep 2000, pp 25-29
76. Batisse, F "La grande vitesse a besoin d'un lifting permanent". Le Rail, Dic 2003, pp 28-33
77. Berrin, G "L'entretien des lignes a grande vitesse a la SNCF". Rail International Schienen der Welt, Dic 1999 pp.17-22
78. Orsi, JP "La renovation de la Ligne a Grande Vitesse Paris Sud-Est". Revue Generale des chemins de fer, Dic 1999, pp 5-14
79. Le Bilhan, A "La voie : l'experience acquise sur la LGV Sud-Est, le premiers renouvellements de composants". Revue Generale des chemins de fer, Nov-Dic 1996, pp 81-87
80. Rodríguez Andrade, J "Mantenimiento de las lineas de Alta Velocidad en Francia. Renovación de la linea de TGV Paris-Lyon". ETS Caminos Madrid, 1999
81. Scasso, Ch "La renovation de la ligne du TGV Sud-Est". Le Rail, Jun 1996, pp 46
82. Batisse, F "Les defirs de la maintenance : couts, urgences, delais". Le Rail, Nov 2003, pp 28-31
83. López Pita, A "Infraestructuras ferroviarias". Edición Univ.Polit.Cataluña, CENIT, Colección TTT, Junio 2006, pp 50-51
84. Gimeno Aribau, S "Una nueva problemática : la renovación de líneas de Alta Velocidad". Tesina, ETS Caminos Barcelona, 2004
85. Savini Nicci, A "High-speed lines in Italy". Rail International Schienen der Welt, Abr 2002
86. Savini Nicci, A "Roma-Napoli postponed until 2005". Railway Gazette International, May 2004, pp 275-276.
87. Briginshaw, D "Italy completes Rome-Naples high-speed line", International Railway Journal, Nov 2005, pp 23-24
88. Smith, M "Progress at Firenzuola". World Tunneling International, Feb 99, pp 25-26
89. Smith, M "Progress at Firenzuola". World Tunneling International, Ago 2000, pp 277-282
90. Melis M "El túnel, clave de las infraestructuras. 149 túneles, métodos y velocidades de construcción". ROP Nov 2000, pp 17-40
91. TAV (Treno Alta Velocita) "Firenze Bologna sotto e sopra L'Appennino", RFI, Provincia di Firenze, Nov.2005
92. "Giant T makes steady progress". Railway Gazette International, May 2004, pp 277
93. Kee-dong, K "Construction of the Korean high speed railway". Rail International Schienen der Welt, Oct 2000, pp 19-23
94. Kee-dong, K "High speed rail in Korea: Recent developments and plans". Rail International Schienen der Welt, Sep 2002, pp 24-29
95. "Drilling for speed on Korea's new HSR", T&TI, Oct 2004, pp 27-29
96. Loubinoux, JP "International efforts complete Korea's first high speed line". Railway Gazette International, Ago 2003, pp 506-507
97. Heinisch, R "Les projects de grande vitesse en Allemagne. L'ICE et le Transrapid dans un systeme intégré". Rail International Schienen der Welt, Oct 1998, pp 50-52
98. Belter, B "Planning and building the Cologne-Rhine/Main new line". Rail International Schienen der Welt, Feb 2002, pp 26-27
99. "Cologne-Frankfurt high-speed railway". Tunnel & Tunneling International, May 98, pp
100. Smith, M "Cologne to Frankfurt am Main by Intercity Express". World Tunneling International, Ago 99, pp 281-284
101. Thomas, J "Germany accelerates to 300 km/h". Rail International Schienen der Welt, Sep 2002, pp 16-17
102. Kurz, H "ICE-3. DB AG passes the 300 km/h threshold". Rail International Schienen der Welt, Sep 2002, pp 20-21
103. "Nürnberg-München in one hour". Railway Gazette International, Nov 2003, pp 714
104. "New projects axed as budget shortfall bites". Railway Gazette International, Sep 2004, pp 557
105. "Early slab track design revived on high speed line". Railway Gazette International, Sep 2004, pp 571-572
106. Missler, M "Permanent way systems for HSL in Germany, DB". DB Systemtechnik TZF 61, comunicación privada, Oct 2004
107. Münchschwander, P et al "Feste Fahrbahn" ETR, 1997
108. Bos, J, Stuit, H "A new philosophy of track building: Deck Track". Rail International Schienen der Welt, Ene 2000, pp 30-37
109. Esveld, C "Modern Railway Track" MRT Productions, 2001, pp.257-258
110. García Alvarez, A "Propuesta de estrategias, estructura organizativa y económica y diseño de operación del transporte de viajeros por ferrocarril en el nuevo escenario competitivo". Tesis Doctoral, Univ. Autónoma Madrid, Dic 2003
111. García Alvarez, A "El tren de Alta Velocidad no es un depredador de energía". DYNA, Asoc. Ings. Industriales España, Jun 05, pp 33-38