



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ALTA VELOCIDAD FERROVIARIA: PRESENTE Y FUTURO



AUTOR: EDUARDO GUARDDON MUÑOZ

DIRECTOR: LUIS LEZÁUN MARTINEZ DE UBAGO

ESPECIALIDAD: MECÁNICA

CONVOCATORIA: SEPTIEMBRE 2015


Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza
PROPUESTA y ACEPTACIÓN DEL
PROYECTO FIN DE CARRERA DE INGENIERÍA TÉCNICA
DATOS PERSONALES

APELLIDOS, Nombre	
GUARDDON MUÑOZ, EDUARDO	
Nº DNI	Dirección
17755475G	AV. GERTRUDIS GÓMEZ DE AVELLANEDA Nº31 4ºD
C.P.	Localidad
50018	ZARAGOZA
Provincia	Teléfono
ZARAGOZA	615236308
NIA: 458449	
Firma:	
	

DATOS DEL PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL, Especialidad	MECÁNICA
TITULO ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ALTA VELOCIDAD FERROVIARIA.	
PROYECTO TIPO A <input type="checkbox"/> TIPO B <input checked="" type="checkbox"/>	
DIRECTOR LUIS LEZÁUN MARTÍNEZ DE UBAGO	

VERIFICACIÓN EN SECRETARÍA

El alumno reúne los requisitos académicos (1) para la adjudicación de Proyecto Fin de Carrera

SELLO DEL CENTRO EL FUNCIONARIO DE SECRETARIA

Fdo.: _____

SE ACEPTA LA PROPUESTA DEL PROYECTO (2)

En Zaragoza, a 10 de febrero de 2015



Fdo.: LUIS LEZÁUN MARTÍNEZ DE UBAGO

DIRECTOR DEL PFC

SE ACEPTA EL DEPÓSITO DEL PROYECTO

En Zaragoza, a 28 de agosto de 2015



Fdo.: LUIS LEZÁUN MARTÍNEZ DE UBAGO

DIRECTOR DEL PFC

(1) Requisitos académicos: tener pendientes un máximo de 24 créditos o dos asignaturas para finalizar la titulación.

(2) Para que la propuesta sea aceptada por el Director, es imprescindible que este impreso esté sellado por la Secretaría de la EINA una vez comprobados los requisitos académicos.

INDICE.

1. INTRODUCCIÓN	8
2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO	9
3. ALTA VELOCIDAD	10
3.1. PRINCIPIOS DE LA ALTA VELOCIDAD	10
3.2. HISTORIA DE LA ALTA VELOCIDAD	11
3.2.1. JAPÓN AÑOS 70-80: CONSTRUCCION DE NUEVAS LINEAS.....	12
3.2.2. JAPÓN FINALES DEL SIGLO XX Y PRINCIPIOS DEL XXI	13
3.2.3. ITALIA	14
3.2.4. FRANCIA	16
3.2.5. LAS LÍNEAS DE ALTA VELOCIDAD FRANCESAS (LGV)	17
3.2.6. ALEMANIA.....	20
3.2.7. ESPAÑA	21
3.2.8. LOS INICIOS DE LA ALTA VELOCIDAD EN ESPAÑA	22
3.2.9. COREA DEL SUR.....	24
3.2.10. TAIWÁN.....	24
3.2.11. REPÚBLICA POPULAR CHINA	25
4. EL TREN DE ALTA VELOCIDAD.	27
4.1. EUROPA.....	29
4.1.1. ESPAÑA	29
4.1.1.1. AVE SERIE 100	29
4.1.1.2. MATERIAL RODANTE	32
4.1.1.3. LINEAS ALTA VELOCIDAD.....	35
4.1.2. FRANCIA	37
4.1.2.1. CARACTERÍSTICAS TGV	39
4.1.2.2. VÍAS	41
4.1.2.3. DISEÑO DEL TRAZADO	41
4.1.2.4. LIMITACIONES DE TRÁFICO	42
4.1.2.5. ALIMENTACIÓN.....	42
4.1.2.6. SEPARACIÓN.	43
4.1.2.7. SEÑALIZACIÓN	43

4.1.2.8.	ESTACIONES	45
4.1.2.9.	MATERIAL RODANTE	46
4.1.2.10.	TGV SUD-EST	48
4.1.2.11.	TGV ATLANTIQUE.....	49
4.1.2.12.	TGV RÉSEAU	50
4.1.2.13.	EUROSTAR.....	51
4.1.2.14.	TGV DUPLEX	53
4.1.2.15.	THALYS PBKA	54
4.1.2.16.	TGV POS	55
4.1.2.17.	TGV DASYE	55
4.1.3.	ITALIA	57
4.1.3.1.	ETR 500.....	58
4.1.3.2.	ETR 480.....	59
4.1.3.3.	ETR 460.....	60
4.1.3.4.	LÍNEAS	61
4.1.4.	ALEMANIA.....	63
4.1.4.1.	ICE 3	64
4.1.4.2.	CLASE 403	66
4.1.4.3.	CLASE 406.....	67
4.1.4.4.	CLASE 407 SIEMENS VELARO D	69
4.1.4.5.	RED ICE	73
4.1.5.	REINO UNIDO.....	73
4.1.5.1.	EUROSTAR.....	74
4.2.	ASIA.....	75
4.2.1.	COREA.	75
4.2.2.	JAPÓN.....	77
4.2.2.1.	SERIES SHINKANSEN.	77
4.2.2.1.1.	SHINKANSEN SERIE 500.....	78
4.2.2.1.2.	SHINKANSEN E6.....	82
4.2.2.1.3.	SHINKANSEN N700.....	84
4.2.2.2.	LINEAS.	92
4.2.3.	CHINA	94
4.2.3.1.	SHANGHAI MAGLEV.....	97

5. PRINCIPALES PLATAFORMAS PARA MUY ALTA VELOCIDAD.....	101
5.1. TALGO AVRIL.....	101
5.1.1. GENERACIONES.....	102
5.1.2. SISTEMAS EMPLEADOS.....	103
5.1.2.1. REDUCCIÓN DE PESO	103
5.1.2.2. CAJA ANCHA.....	104
5.1.2.3. SISTEMAS ACTIVOS DE GUIADO	106
5.1.2.4. SUSPENSIÓN ACTIVA	107
5.1.2.5. SISTEMA REGATO	107
5.1.3. OTROS SISTEMAS.....	108
5.1.3.1. ANÁLISIS DINÁMICO	108
5.1.3.2. EJE DINAMOMÉTRICO	110
5.1.3.3. REDUCCIÓN DE PESO	110
5.1.3.4. INTERACCIÓN PANTÓGRAFO-CATENARIA	112
5.1.3.5. OPTIMIZACIÓN AERODINÁMICA.....	113
5.1.3.6. RECICLABILIDAD.....	114
5.1.3.7. SEGURIDAD PASIVA.....	115
5.1.3.7.1. PROYECTO RAILCEN.....	118
5.1.3.8. CONFORT.....	119
5.1.3.8.1. SUELO FLOTANTE	119
5.1.3.8.2. MODELIZACIÓN VIBROACUSTICA	120
5.1.3.8.3. ERGONOMÍA.....	121
5.1.4. ANTECEDENTES.....	123
5.2. AGV	124
5.2.1. DESCRIPCIÓN	125
5.2.2. COSTE - PRIMERAS VENTAS.....	126
5.2.3. DISEÑO QUE GARANTIZA LA SEGURIDAD Y LA PROTECCIÓN.....	128
5.2.3.1. ARQUITECTURA ARTICULADA DE TRENES	128
5.2.3.2. TESTERO PENSADO PARA LA SEGURIDAD	129
5.2.3.3. EL CONDUCTOR DE AGV, SEGURO Y PROTEGIDO.....	129
5.2.4. LA FLEXIBILIDAD PARA SATISFACER SUS NECESIDADES DE SERVICIO	130
5.2.4.1. LA IMPORTANCIA DE SER FLEXIBLE.....	130
5.2.4.2. DISEÑO “TUBULAR” DE OPCIONES ABIERTAS.....	131

5.2.5.	MEJORAS EN EL CONFORT A BORDO	131
5.2.5.1.	LOS PASAJEROS EN PRIMER LUGAR	131
5.2.5.2.	MEJORAS PARA EL CONDUCTOR	132
5.2.6.	DISEÑADO PARA GARANTIZAR LA EFICIENCIA AMBIENTAL Y ECONÓMICA ..	133
5.2.6.1.	MEJORAS EN LOS COSTES DEL CICLO DE VIDA	134
5.2.6.2.	RESPETO POR EL MEDIO AMBIENTE	134
5.2.6.3.	DISEÑADO PARA UN MANTENIMIENTO SIMPLE	135
5.2.7.	INTEROPERABILIDAD DESDE EL COMIENZO	135
5.2.7.1.	MEJORANDO LA SEÑALIZACIÓN	135
5.2.7.2.	ERTMS, UNIFICANDO EL FERROCARRIL EUROPEO	136
5.2.7.3.	EL PANTÓGRAFO	136
5.2.8.	MEJORAR LAS PRESTACIONES Y LA FIABILIDAD	137
5.2.8.1.	EL SISTEMA DE TRACCIÓN	137
5.2.8.2.	BOGIES	138
5.2.8.2.1.	MOTORES DE IMANES PERMANENTES	139
5.2.8.2.2.	CONVERTIDOR DE TRACCIÓN IGBT	140
5.2.8.3.	FRENADO	140
5.2.9.	COMPARACIÓN CON OTROS TRENES DE ALTA VELOCIDAD	141
5.2.10.	HITOS DEL DESARROLLO DEL AGV	142
6.	EL FUTURO (CONCLUSIÓN)	143
6.1.	FUTUROS TGV	143
6.2.	LEVITACIÓN MAGNÉTICA	144
6.2.1.	PROYECTOS EN CURSO	148
	ANEXOS	151
7.	ANEXO 1. AMORTIGUADOR BI-MODAL	151
8.	ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN DE PLATAFORMAS EXISTENTES PARA A ALTA VELOCIDAD MEDIANTE ENSAYO DE CARGA VERTICAL CON PLACA DINÁMICA	153
8.1.	INTRODUCCIÓN	153
8.2.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE PLATAFORMAS FERROVIARIAS	155
8.3.	ENSAYO DE CARGA VERTICAL DE SUELOS MEDIANTE PLACA DINÁMICA	155
8.4.	TRAMO: ALBACETE – VARIANTE DE ALPERA	156
8.4.1.	ENSAYOS DE CONTRASTE SOBRE LA PLATAFORMA ABANDONADA	157
8.4.2.	ENSAYOS SOBRE LA PLATAFORMA EN SERVICIO	158

8.4.3.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	160
8.4.3.1.	SUBBALASTO	160
8.4.3.2.	CAPA DE FORMA.....	161
8.5.	CONCLUSIONES.....	161
8.6.	TRAMO: C/ PEDRO BOSCH (MADRID) –GETAFE	162
8.6.1.	CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA	162
8.6.2.	ENSAYOS DE CONTRASTE	164
9.	ANEXO.3. IMPLICACIONES TÉCNICAS DE LA CIRCULACIÓN A ALTA VELOCIDAD.....	165
9.1.	PARÁMETROS DERIVADOS DEL ANÁLISIS DE LA DINÁMICA VERTICAL	165
9.1.1.	DEFECTOS DE VÍA Y RIGIDEZ VERTICAL	165
9.1.2.	TRAVIESAS, PLACAS DE ASIENTO Y SISTEMA BALASTO-PLATAFORMA	167
9.2.	PARÁMETROS DERIVADOS DE LA AERODINÁMICA EN TÚNELES	169
9.3.	SÍNTESIS	170
9.4.	VÍA EN PLACA.....	170
10.	BIBLIOGRAFIA	172

1. INTRODUCCIÓN

Desde que aparecieron, en octubre de 1964, los primeros trenes de alta velocidad en Japón han pasado ya más de 50 años.

Durante este largo periodo de tiempo se ha producido un gran cambio en el ferrocarril tal como se entendía hasta esa fecha. De hecho si no hubieran aparecido estos nuevos trenes posiblemente el transporte ferroviario, al menos en lo que se refiere al tráfico de pasajeros, habría desaparecido debido a la competencia creciente de la carretera sobre todo tras la construcción masiva de autovías y autopistas.

Por otra parte, según se avanzaba en el estudio de estos nuevos trenes, el propio concepto de alta velocidad ha ido cambiando como se explicara más adelante. Así, a fecha de hoy el tren que unía Tokio y Osaka en 1964 a 210 Km/h de velocidad máxima no sería hoy un tren de alta velocidad sino de velocidad alta.

Japón fue pues el primer país en poner en marcha la alta velocidad ferroviaria en el mundo. Sin embargo no sería justo olvidarnos de Francia como país pionero en estos temas, ya que hacía más de una década que muchos técnicos franceses estaban estudiando las modificaciones que habría que realizar sobre el material motor y remolcado para conseguir altas velocidades.

Como consecuencia de estos estudios preliminares hay que citar la prueba que se realizó en Francia, concretamente en las Laudas, en marzo de 1955. En esa fecha una locomotora eléctrica con unos coches adaptados artesanalmente rodó a 331 Km/h. batiendo, entonces, el récord mundial de velocidad ferroviaria.

Sin embargo, tanto el propio material tractor (pantógrafo, motor de tracción, suspensiones) como la vía y demás instalaciones quedaron prácticamente inservibles tras la prueba.

Tendrían que pasar muchos años de estudios teóricos, simulaciones y pruebas en vía para que se pudiese circular sin peligro a esas velocidades.

2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO

En primer lugar hay que hacer un recorrido histórico de la alta velocidad en distintos países durante estos 50 años.

Hay que destacar que países técnicamente avanzados como Bélgica no se han preocupado por la alta velocidad porque lógicamente la extensión de su territorio es tan pequeña que no tiene sentido desarrollarla.

Por el contrario países que han entrado más tarde en la alta velocidad como China no solo se han puesto a la cabeza en el número de kilómetros explotados en alta velocidad sino que además han introducido el nuevo concepto de tren de alta velocidad nocturno.

Es lógico que así sea pues las grandes distancias existentes en ese país harían tedioso un tren diurno de alta velocidad, siendo mejor en ese caso el avión. En cambio durmiendo tranquilamente en un tren nocturno de alta velocidad se pueden recorrer del orden de 2000Km.

Además de este recorrido histórico por los países que explotan la alta velocidad ferroviaria se comparan los distintos tipos de trenes en lo que se refiere al tipo de tracción, suspensiones, servicios a bordo velocidades máximas...

Finalmente se comparan las plataformas más tecnológicamente avanzadas que se pondrán en funcionamiento en un futuro inmediato.

Hay que resaltar que los trenes de alta velocidad actuales como los entendemos hoy (contacto rueda-carril) pueden tener los años contados pues para el 2027 está previsto la puesta en funcionamiento de la línea Tokio-Osaka con trenes de levitación magnética.

De esta forma Japón volverá a ser el primer país en que se explota una línea larga de alta velocidad ferroviaria con este nuevo tipo de sustentación.



Figura [1]; ceremonia inauguración en Tokio el 1 de octubre de 1964 Fuente: [Japonismo]

3. ALTA VELOCIDAD

Según la UIC (**Union internationale des Chemins de Fer**), no existe una sola definición de **línea de alta velocidad (LAV)** sino varias.

Según la Unión Europea la definición de **línea de alta velocidad** cubre distintas situaciones. Estas pueden ser:

- Una línea de nueva construcción se denomina como **línea de alta velocidad** cuando permite a los trenes operar a velocidades de 250 km/h. o mayores, durante todo o una parte importante de su recorrido.
- En el caso de líneas convencionales adaptadas, se consideran de **alta velocidad** si permiten velocidades de 200 o más km/h.
- También se pueden considerar como **líneas de alta velocidad** aquellas que, sin llegar a esta velocidad, satisfacen criterios especiales tales como reducciones sustanciales en tiempo del viaje al superar accidentes geográficos como montañas o estrechos.

3.1. PRINCIPIOS DE LA ALTA VELOCIDAD

1º PRINCIPIO: La alta velocidad es un sistema resultado de innumerables elementos en su más alto nivel (mejor vía, mejor electrificación, comunicaciones, trenes etc...).

2ºPRINCIPIO: La alta velocidad confiere unas características especiales desde un punto de vista comercial (servicio de transporte de alto standing). Desde un punto de vista más técnico la explotación de trenes y líneas de alta velocidad requiere de una minuciosa planificación y concepción de las instalaciones y de la gestión de la capacidad.



Figura [2]; Modelado de tren. Fuente: [Fondoescriptorio.com]

3.2. HISTORIA DE LA ALTA VELOCIDAD

Los trenes de alta velocidad, definidos como el transporte de viajeros por ferrocarril funcionando a una velocidad máxima igual o superior a los 200 km/h, representan la última generación del ferrocarril en el mundo. Japón y varios países europeos llevan unos treinta años realizando grandes inversiones en ferrocarril de gran velocidad para unir sus principales ciudades.

Japón fue el primero en construir vías férreas especialmente dedicadas para la alta velocidad. Debido a la naturaleza montañosa de gran parte del país, las líneas existentes presentaban un ancho de vía estrecha (1.067 mm), las cuales no podían ser adaptadas a velocidades superiores, además de un gran tráfico que impedía agregar más trenes. Por lo que Japón tenía una mayor necesidad de implantar un nuevo sistema ferroviario respecto a otros países, ya que los sistemas ferroviarios existentes en el resto de países tenían un potencial de mejora mayor que en Japón.

El nombre Shinkansen, el conocido como *tren bala*, se usó por primera vez en 1940, en una propuesta de línea de pasajeros y mercancías de ancho estándar entre Tokio y Shimonoseki, usando locomotoras eléctricas (siguiendo el modelo del italiano ETR 200) y a vapor a una velocidad media de 150 km/h (un incremento de 50% sobre el tren más veloz de esa época), y con velocidades máximas de 200 km/h (más del doble de la velocidad del tren japonés más rápido de aquel entonces). A lo largo de los tres años siguientes, el Ministerio de Transportes esbozó planes más ambiciosos para extender la línea hasta Pekín (a través de un túnel hasta Corea) y hasta Singapur, y construir conexiones al Ferrocarril Transiberiano y otras líneas asiáticas, ya que en aquella época Japón era una potencia colonial en toda la costa asiática oriental. Estos planes se desestimaron oficialmente en 1941, por la entrada de Japón en la II Guerra Mundial.

Con el fin de la II Guerra Mundial, y con la derrota de Japón en el año 1945, los trenes de alta velocidad fueron olvidados durante algunos años. Sin embargo, a mediados de los años 50, la línea principal de Tokaido entre la capital y Osaka ya estaba operando a su máxima capacidad, y el Ministerio de Transportes decidió reabrir el Proyecto Shinkansen. La aprobación gubernamental llegó en 1958, y la construcción del primer tramo de la Tokaido Shinkansen entre Tokio y Osaka se inició en 1959. Gran parte de la construcción fue financiada con un préstamo de 80 millones de dólares del Banco Mundial. En 1962 se abre en Odawara un tramo de pruebas del material rodante, que hoy forma parte de la línea principal.

El Tokaido Shinkansen fue inaugurado el 1 de abril de 1964, justo a tiempo para la celebración de los Juegos Olímpicos de Tokio 1964. Fue un éxito inmediato, llegando a la marca de los 100 millones de pasajeros en menos de tres años, el 13 de julio de 1967, y a los mil millones de pasajeros en 1976. Para la Expo '70 de Osaka se introdujeron dieciséis nuevos trenes.

La nueva línea Tokaido era singular. Su característica más importante es que había sido concebida y construida como un conjunto perfectamente integrado de Alta Velocidad, con trenes de características especiales circulando por su propia vía. Muy significativa fue la deliberada elección de un ancho de vía no compatible con el resto de la red. El ancho, de 1.435 mm, hacía posible alcanzar una velocidad considerablemente mayor que la realizable en las otras líneas de los JNR (Ferrocarriles Nacionales Japoneses), en las que los carriles se hallan a solo 1.067 mm uno de otro y en las que proliferan las curvas cerradas y los pasos a nivel. Una ventaja adicional era que ningún problema de explotación que aquejase a los servicios en las demás líneas de los JNR podría repercutir en ésta, de primordial importancia.

En un principio, se había previsto que los trenes de la nueva línea Tokaido Shinkansen circularan a 260 km/h, pero la velocidad máxima hubo de rebajarse a 210 km/h, mediada la fase de proyecto, por imposición del Banco Mundial. La electrificación de la línea era a 25 kV 60 Hz. Debido a la alta velocidad de circulación, en la nueva línea no debían existir pasos a nivel. Este requisito resulta probablemente más significativo en Japón que en otros países. Ya que en los suburbios de Tokio las vías de cercanías se ven cruzadas cada cien metros por pasos a nivel. Como consecuencia de esta decisión, más de un tercio de la Shinkansen corre sobre puentes o viaductos.

3.2.1. JAPÓN AÑOS 70-80: CONSTRUCCION DE NUEVAS LINEAS



Figura [3]; Viaducto abandonado de Narita Shinkansen Fuente: [Wikimedia]

El éxito inicial de la Tokaido Shinkansen permitió extender la primera línea al oeste, la línea Sanyo Shinkansen, que une las ciudades de Hiroshima con Fukuoka. Esta línea tiene una longitud de 553,7 kilómetros, de los cuales el 51% transcurren por túneles y otro 38% por viaductos. La Sanyō Shinkansen se completó y entró en funcionamiento en el año 1975.

El Primer Ministro japonés de la época, fue un ferviente partidario del Shinkansen, y su gobierno propuso una extensa red de líneas paralelas a la mayoría de las líneas convencionales de Japón. Siguiendo este plan se construyeron dos nuevas líneas, las llamadas Tohoku Shinkansen (de 496,5 kilómetros de longitud), y la Joetsu Shinkansen (de 269,5 kilómetros de longitud), la cual transcurre por un tramo de la Tōhoku Shinkansen. Ambas líneas fueron inauguradas en el año 1982.

Sin embargo, otras tantas líneas planeadas se retrasaron o retiraron por completo cuando los Ferrocarriles Nacionales de Japón aumentaron sus deudas, como lo ocurrido en la Narita Shinkansen, línea de Alta velocidad que debía unir Tokio con el Aeropuerto Internacional de Narita, la cual fue cancelada y eliminada oficialmente del plan básico que rige la construcción de las líneas de Shinkansen. Todo esto se debió en gran parte a los altos costes de construcción de la red Shinkansen, ya que a comienzos de los años 80, la JNR era prácticamente insolvente, lo que llevó a su privatización en 1987.

3.2.2. JAPÓN FINALES DEL SIGLO XX Y PRINCIPIOS DEL XXI

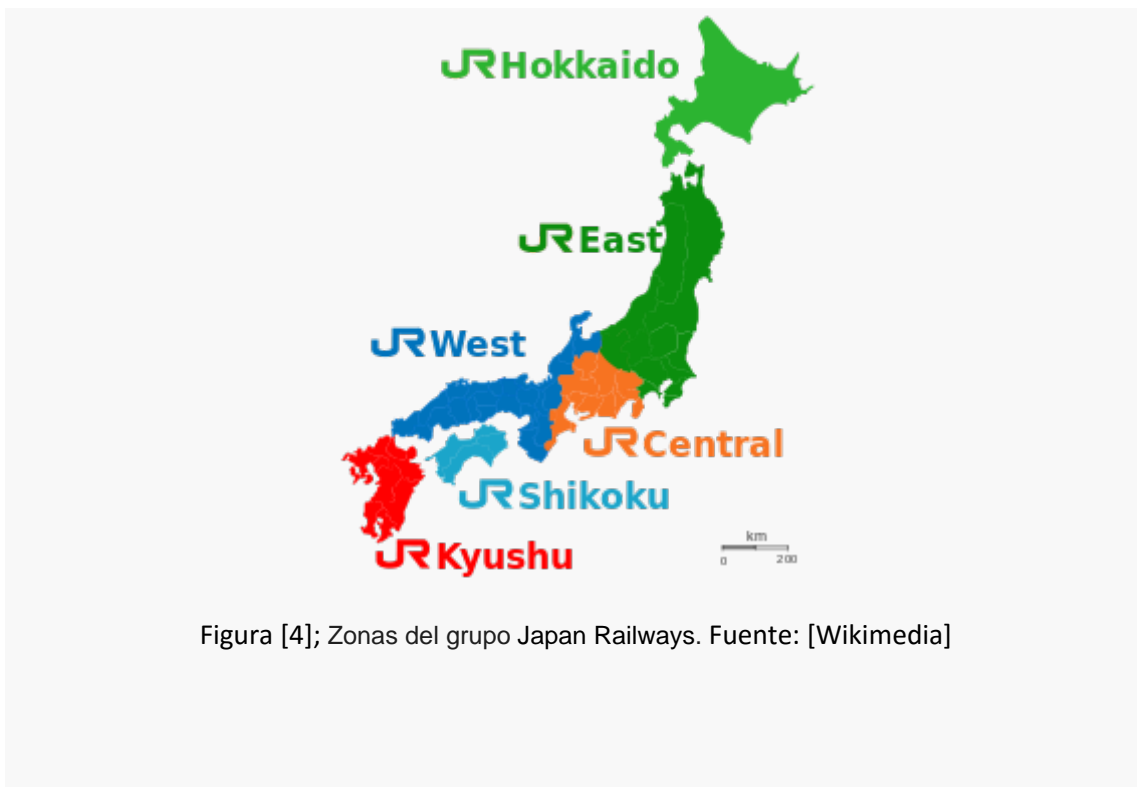


Figura [4]; Zonas del grupo Japan Railways. Fuente: [Wikimedia]

Actualmente Japón es la segunda potencia mundial en kilómetros construidos de líneas de Alta Velocidad por detrás de China, ya que desde los años 60 no ha dejado de construir líneas Ferroviarias de este tipo.

En los años 90, el gobierno japonés construyó e inauguró tres líneas de alta Velocidad. En el año 1992 inauguró la línea Yamagata Shinkansen, la cual unía a las ciudades de Fukushima y Yamagata, a una distancia de 87,1 kilómetros, y en el año 1997 entraron en funcionamiento otras dos líneas, la Hokuriku Shinkansen, entre las ciudades de Takasaki y Pagano, con una longitud de 117,4 kilómetros, y la Akita Shinkansen, entre Morioka y Akita, de 127,3 kilómetros de longitud.

La llegada del nuevo milenio ha supuesto la construcción de nuevas líneas en Japón, entre las que destaca la Kyushu Shinkansen, la cual une las ciudades de Kagosima y Yatsushiro, la cual se inauguró en el año 2004. Actualmente están en construcción cuatro extensiones:

3.2.3. ITALIA

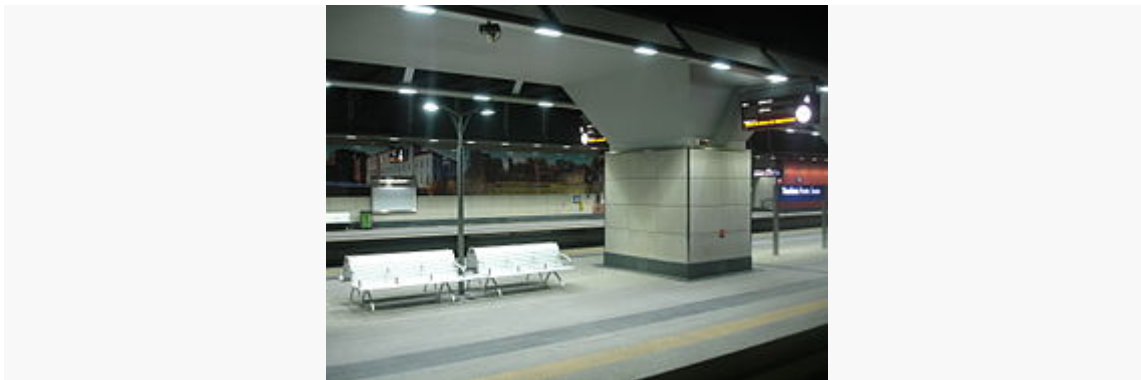


Figura [5]; Nueva estación de Turín Porta Susa Fuente: [Wikimedia]

Las aspiraciones del Ferrovie dello Stato (FS) en el campo de la Alta Velocidad vienen de los remotos tiempos de entreguerras, cuando una línea que recibió el nombre de Direttissima quedó abierta entre Roma y Nápoles en 1927. Aquel nombre, sin embargo, había sido acuñado ya en 1914, cuando comenzaron los trabajos de construcción de la citada línea. En 1934 se finalizó un segundo tramo de la Direttissima, entre Bolonia y Prato (junto a Florencia), a través de los Apeninos, para cuya construcción fue necesario perforar treinta túneles, uno de ellos, de 18,5 km de longitud.

Fue en la Direttissima Roma-Nápoles donde, en junio de 1938, una unidad eléctrica ETR 201, de tres coches, alcanzó una velocidad ligeramente superior a los 200 km/h en un recorrido especial.

Más espectacular todavía fue un viaje realizado poco más de un año después con la misma unidad eléctrica ElettroTreno ETR 200, que recorrió los 314 km que separan Florencia de Milán a la velocidad media de 164 km/h, habiendo alcanzado un máximo de 204 km/h. En el mismo año (y solamente por tres años, debido a la II Guerra Mundial), se inició y mantuvo un servicio regular entre Milán y Roma en 6 horas que fue el primero comercial en el mundo.

Cuando los trenes japoneses (que perfeccionaron el italiano ETR 200 después de 1945, desarrollando el parecido Shinkansen "serie 0") llevaban varios años circulando por la Shinkansen a 210 km/h, este hecho no había pasado inadvertido para los Ferrocarriles del Estado Italiano (FS) ni para el gobierno de Italia. Las líneas principales que corren de norte a sur por la península italiana se hallaban congestionadas, y el tráfico por ellas era lento. En 1969 el gobierno y los FS anunciaron unos audaces proyectos para construir la primera "Shinkansen" europea entre Roma y Florencia. Hoy día el adjetivo de Direttissima se refiere a este proyecto.

De este modo, la línea de ferrocarril que une las ciudades de Florencia y Roma (la Direttissima) fue la primera de Alta Velocidad de Europa. En 1977 se inauguró, más o menos, la mitad de la línea, ya que las obras de construcción de esta línea no se terminaron hasta el año 1992. Gracias a esta línea, la conexión entre las dos ciudades dura 1 hora y 20 minutos.

Tal y como inicialmente fue concebida en 1968, la Direttissima implicaba la construcción de cuatro variantes, que sumaban un total de 120 km, y la renovación del resto de la línea Roma - Florencia, que había sido completada en los años treinta como una arteria de vía doble. La totalidad de la línea estaba diseñada para permitir la circulación a 250 km/h. Una de las dificultades que presentaban los trabajos de mejora de las secciones a conservar de la antigua línea era la inevitable y masiva perturbación del tráfico. Debido a ello fue preciso revisar el proyecto y se prepararon nuevos planes que suponían construir de nueva planta más del 90% de la línea.

Los FS decidieron construir la nueva vía para tráfico mixto de trenes de viajeros y de mercancías, lo que obligaba a diseñar curvas de grandes radios y un perfil longitudinal con pequeñas rampas. Otro requisito fundamental es que tenía que enlazar con la antigua línea en distintos puntos a largo de su recorrido, lo que añadía 53 km a la construcción de nuevas vías. Estas interconexiones permitirían que los trenes entrasen y saliesen en la nueva línea para servir estaciones intermedias o ramales. El efecto global era equivalente a la creación de una línea de vía cuádruple por la que los trenes de viajeros y mercancías pudieran ser fácilmente desviados para que no se estorbasen mutuamente. Esta característica tenía especial importancia si tenemos en cuenta las puntas estacionales del tráfico italiano, que producen súbitas demandas de capacidad de la línea.

3.2.4. FRANCIA



Figura [6]; Tren de alta velocidad de la SNCF. Fuente: [Wikimedia]

Aunque los servicios de Alta Velocidad en Francia comienzan en 1981, es preciso remontarse a la década de los 60 para conocer el motivo por el que se llega a esta solución. En junio de 1965, un tren remolcado por una locomotora alemana CC serie E03, de 6.420 kW, prestó servicios a 200 km/h en la línea Múnich-Augsburgo y demostró la fiabilidad de dicho tipo de explotación. Este hecho, junto con la entrada en explotación de la Tokaido Shinkansen en octubre de 1964, fueron los motivos por los que la SNCF (Sociedad Nacional de Ferrocarriles Franceses) decide encaminar sus esfuerzos a conseguir la Alta Velocidad ferroviaria.

Para ello, la SNCF contaba a comienzos de los años 60 con un “Service de la Recherche” (*servicio de búsqueda*) dividido en 4 familias temáticas:

- Mejora y optimización de los medios existentes.
- Características económicas y posibilidades del transporte ferroviario a largo plazo.
- Exploración de nuevas técnicas de transporte guiado terrestre.
- Perspectivas de la SNCF en el año horizonte 1985.
- En aquel momento se barajaron, fundamentalmente, tres opciones para desarrollar la Alta Velocidad:
 - La investigación y desarrollo de nuevos sistemas, como el aerotrén de Berlín.
 - La mejora del material móvil y de la explotación sobre infraestructuras existentes.
 - Alta Velocidad sobre infraestructura nueva, a semejanza de la red Shinkansen.

Las tres líneas de trabajo fueron abordadas. Así, y refiriéndonos a la primera alternativa, el Servicio de Investigación de la SNCF puso en marcha el proyecto de investigación C02, para el desarrollo del Aerotrén, aunque este sistema no pasó de la etapa de prototipo.

Con respecto a la segunda línea de trabajos, corresponde a todos los proyectos de investigación del tipo A. Estos estudios propiciaron que los directivos de la SNCF decidieran, entre 1964 y 1965, que para 1967 había que implantar los 200 km/h en una sección de la línea París - Toulouse, bajo corriente continua a 1.500 V. El tren elegido para ello fue el prestigioso expreso Capitole, que ofrecía solamente plazas de primera clase y que era fundamentalmente utilizado en viajes de negocios a la cuna de la industria aeronáutica francesa, Toulouse. Cuando llegó el momento de inaugurar el servicio, el 28 de mayo de 1967, la SNCF había puesto en práctica un conjunto de medidas que permitían reducir en 40 minutos el tiempo de viaje sobre los 713 km que separaban Toulouse de París. El resultado de todo ello fue un tiempo de viaje de 6 horas, lo que significa una velocidad media de 119 km/h. En los 400 km de París a Limoges el promedio era una meritoria velocidad de 138 km/h. Resulta interesante señalar que el breve recorrido a 200 km/h contribuyó al ahorro neto de tiempo con menos minutos que los otros refinamientos.

Finalmente, con respecto a la tercera opción, se inició un proyecto cuya clave era "C03: Posibilidades de nuevas infraestructuras ferroviarias". El programa de trabajos se aprobó el 10 de abril de 1967. El lanzamiento del proyecto C03 se aprobó en julio de aquel mismo año. Un año más tarde, el proyecto se presenta en su concepción completa. En noviembre de 1969, las autoridades que tutelan el proyecto C03 hacen público por primera vez el informe "Desserte à grande vitesse du sud-est de la France par ligne nouvelle à grande vitesse entre Paris et Lyon".

3.2.5. LAS LÍNEAS DE ALTA VELOCIDAD FRANCESAS (LGV)

La construcción de esta nueva infraestructura entre París y Lyon surge de una manera muy similar a Japón: tratando de solucionar un problema de demanda de movilidad. En efecto, la relación París-Lyon era la línea con más tráfico de la SNCF, con 5 millones de viajeros en aquellos años. La capacidad de la línea estaba limitada por la existencia de dos secciones de vía doble, intercaladas en lo que, por otra parte, era una línea cuádruple. Cada día resultaba necesario enhebrar 250 circulaciones en la sección entre Saint-Florentin y Dijon, un tramo cuya capacidad máxima era 260 trenes diarios. Cualquier idea de cuadruplicar la vía en este trayecto se veía oscurecida por la presencia de dificultades orográficas que hacían que el coste resultase totalmente desproporcionado para los beneficios a obtener. Por ello, la SNCF mantenía que los beneficios comparados entre una línea nueva de Alta Velocidad y la modernización de la línea antigua eran favorables a la construcción de una nueva línea.

En 1976 el gobierno francés fundó el proyecto TGV y poco después se comenzó la construcción de la LGV Sud-Est, la primera línea de alta velocidad, línea que se denominó LN1, Ligne Nouvelle 1 (Nueva línea 1). El servicio TGV empezó a funcionar para el público entre París y Lyon el 27 de septiembre de 1981.

La nueva línea Sud-Est está dedicada únicamente a trenes de viajeros de Alta Velocidad entre París y Lyon. Inicialmente, la velocidad máxima era de 260 km/h, aunque posteriormente se subió hasta los 270 km/h. Se trata de la primera línea de la red francesa de Alta Velocidad.

Actualmente Francia dispone de una extensa red en cuanto a servicios ferroviarios de Alta Velocidad. Esta es de carácter claramente concéntrico, teniendo a París como centro de la red, la cual está formada por las siguientes líneas:



Figura [7]; Líneas TGV (mostradas en azul y rojo) y sus conexiones con el resto de las redes de alta velocidad europeas. Fuente: [Wikimedia]

- **LN1, Corredor del Sudeste.** En 1981 se abrió la primera línea de alta velocidad en Francia, la Imperial de París al Mediterráneo, limitada entonces al recorrido entre la capital parisina y Lyon. Dos años más tarde comenzaría la construcción de la línea, para la que se establecieron parámetros hasta entonces desconocidos en Europa: doble vía banalizada con un radio mínimo de las curvas de 4.000 metros (salvo tres puntos excepcionales con radios de 3.200 metros).
- **LN2, Corredor del Atlántico.** Tras el éxito de la línea del sudeste, en 1982, se decidió la ampliación de la red de alta velocidad sobre el eje atlántico. Los trabajos empezaron en 1985. De forma análoga a la línea 1, la 2 cuenta con doble vía banalizada, aunque con radio mínimo de curva de 4.200 m. Dispone de seis subestaciones y sobre sus 276,6 km la señalización es apta para TVM 300 y se circula a 300 km/h.
- **LN3, Norte-Europa y circunvalación de París.** Tras trazarse los dos ejes París-sureste y oeste/suroeste, era necesario un eje al norte, útil para llegar a Lille y otras ciudades del norte y para permitir enlaces internacionales a Bruselas y Londres. Además, para crear relaciones desde el sur de París se precisaba una línea de circunvalación de la capital. La construcción de estas líneas se inició en 1989.
- **LN4, Ródano-Alpes.** La línea 4 Ródano-Alpes y la línea 5 Mediterráneo son en realidad prolongaciones de la 1, que permiten reducir el tiempo de viaje a las regiones que atraviesan y a nuevos destinos: Grenoble, Alpes, Provenza, Languedoc y Milán, éste con ramas tritensión desde el 29 de septiembre de 1996.
- **LN5, Mediterráneo.** La línea 5, por su longitud y la densidad de población de las zonas que atiende, supone un salto cualitativo de gran envergadura. Ciudades a más de 700 km de París, como Montpellier o Marsella, quedan a 3 h 19' y a 3 h de la capital. Sólo dos ejemplos, pues muchas otras ciudades quedan ya notablemente cerca de París.
- **LN6, TGV Este.** tramo 1 Vaires-sur-Marne-Baudrecourt: 301,5 km, desde 2007.

La proporción de obras de fábrica (túneles y viaductos) en las líneas de Alta Velocidad francesas es mucho menor que en el caso de las japonesas. Si este porcentaje oscila en Japón desde el 46% de la línea Tokaido al 99% de la Joetsu, en la línea Sud-Est el porcentaje de obras de fábrica es de 1,3% y en la Atlantique sube hasta el 8%.

Actualmente existen varias líneas en fase de construcción, de proyecto y de estudio informativo, las cuales suman casi 3.000 km de nueva línea ferroviaria de Alta Velocidad.

3.2.6. ALEMANIA



Figura [8]; ICE-T pasa veloz por Delitzsch, cubriendo el trayecto Múnich -Hamburgo - Altona.

Fuente: [Wikimedia]

El comienzo de la Alta Velocidad en Alemania se remonta a las circulaciones a 200 km/h entre Múnich y Augsburg (República Federal Alemana), en junio de 1965. Con un bagaje técnico extenso, en 1970 los Ferrocarriles Alemanes (DB) habían concebido un programa muy ambicioso para construir siete líneas de Alta Velocidad.

La red de los DB orientada de este a oeste no se ajustaba al modelo geográfico de desarrollo económico de posguerra, en el que las nuevas industrias implantadas en el sur dependían de las materias primas importadas a través de puertos holandeses o del norte de Alemania, y cuyas exportaciones seguían el mismo camino. La situación se agrava por el hecho de que el crecimiento industrial del norte de Italia estimulaba la demanda de tráfico de tránsito norte-sur. Parte del tráfico pudo ser absorbido gracias a las nuevas posibilidades de tracción que brindó la electrificación de ciertas líneas, lo que contribuyó a aumentar su capacidad, pero muchas relaciones se hallaban sobrecargadas.

La DB no veía otra alternativa que una reestructuración radical de su red, con un masivo programa de mejoras de líneas existentes unido a un núcleo de líneas completamente nuevas (neubaustrecken) que eliminarían los peores cuellos de botella, aumentando la capacidad allí donde resultase más necesario. Este programa debía permitir también que los horarios y los servicios interurbanos de pasajeros mejoraran, poniendo a la DB en condiciones de luchar contra la competencia de las autopistas y de las líneas aéreas. Así, se dio prioridad a la línea Hanóver-Wurzburg, que bajaba de norte a sur por el flanco oriental del país. Las obras comenzaron el 10 de agosto de 1973. Además de la Hanóver-Wurzburg, estaba proyectada también la construcción de una variante para Alta Velocidad, de 99 km, entre Mannheim y Stuttgart, en el suroeste, y una línea directa desde Colonia a Gross Gerau, junto a Fráncfort (que finalmente se pospuso en el año 1976). Las obras de ambas neubaustrecken progresaron con muchas dificultades y finalmente se abrieron a la explotación en 1991.

Para las nuevas líneas, en lugar de adoptar como velocidad máxima de diseño 300 km/h, ésta se redujo a 250 km/h. La posibilidad de transportar camiones en vagones cerrados había sido sacrificada al recortar el gálibo de carga, puesto que era inútil construir las nuevas líneas para un gálibo superior si las líneas existentes a las que se conectaba no eran modificadas del mismo modo, con lo que se ahorró un 10% en costes de construcción. Sin embargo, se mantuvo la idea de utilizar las nuevas líneas para un tráfico mixto de trenes de viajeros y de mercancías.

3.2.7. ESPAÑA



Figura [9]; La red de ferrocarriles en España durante el siglo XIX. Fuente: [Wikimedia]

La red ferroviaria española tiene una configuración radial, con centro en Madrid y conexión con las ciudades periféricas más importantes. Aunque esta forma responde a un modelo político centralista, algunos autores establecen que esta particular forma radial de la red española permite un gran número de relaciones con un número mínimo de líneas. Junto a esta forma radial, esta red se distingue de la mayoría de las europeas por ser enormemente accidentada, consecuencia de la particular orografía española.

Con el fin de indicar algunos datos complementarios sobre la red española, se puede establecer que la altitud máxima a cielo abierto alcanzada es de mil trescientos cincuenta y nueve (1.359) metros, en La Cañada (Ávila), mientras que en túnel la máxima cota es de mil cuatrocientos noventa y cinco (1.495) metros, en Tosas. Por lo que se refiere al trazado en alzado, el setenta y siete por ciento (77%) de los kilómetros de la red se desarrolla en pendiente, de los cuales el treinta por ciento (30%) con valores situados entre diez y veinticinco milésimas. Si comparamos estos datos con un país montañoso como Suiza, en el que el sesenta y ocho por ciento (68%) se desarrolla en pendiente y el veintiséis por ciento (26%) con valores entre diez y veinticinco milésimas, se revela el carácter tan accidentado de la red española.

El ancho de vía español se estableció en mil seiscientos sesenta y ocho milímetros, mientras que el ancho internacional, fijado en la conferencia de Berna de 1915, es de mil cuatrocientos treinta y cinco milímetros, así, aunque existen opiniones que aseguran que el diferente ancho de vía venía dado por una razón estratégica, para evitar invasiones, y otras que establecen que esta diferencia procede de razones de carácter técnico, para poder utilizar un material de mayor capacidad en locomotoras de mayor tamaño y potencia, lo cierto es que, en cualquier caso, el distinto ancho de vía ha supuesto un gran impedimento en el desarrollo de las relaciones el ferrocarril español con el resto de Europa.

Para dar solución a este problema y permitir una futura interoperabilidad entre los servicios españoles y el resto de servicios de Alta Velocidad europeos, las nuevas infraestructuras de Alta Velocidad españolas se construyen con ancho internacional.

3.2.8. LOS INICIOS DE LA ALTA VELOCIDAD EN ESPAÑA



Figura [10]; Nueva estación para el AVE en Córdoba. Fuente: [Wikimedia]

A finales de la década de los años 80 se empezó a proyectar la construcción de una línea de alta velocidad, a inspiración de la realizada por SNCF en Francia (el TGV).

Entre otros proyectos se realizó uno de un trayecto que uniese la meseta castellana con Andalucía sin pasar por Despeñaperros.

Tras varios años de proyectos, se llegó a la conclusión de que una línea en ancho internacional sería acertada, ya que permitiría aprovechar trenes e instalaciones probadas en Europa, y se propuso la creación de la primera línea de alta velocidad (LAV) en España.



Figura [11]; Euromed por Benicarló-Peñíscola con destino Valencia. Fuente: [Wikimedia]

El proyecto de N.A.F.A. (Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía) se estaba estudiando como alternativa a la línea por Despeñaperros, dada la necesidad de revitalizar la estancada economía del sur del país. Tras varios años de obras, la primera línea se inauguró el 14 de abril de 1992, coincidiendo con la Expo'92 celebrada en Sevilla. En sus dos primeros años de funcionamiento, el AVE circulaba entre Madrid y la capital andaluza en 2 horas y 55 minutos, con paradas intermedias en Ciudad Real, Puertollano y Córdoba. El 23 de abril de 1993 se alcanzó el récord de velocidad de los trenes AVE con 356,8 km/h, lo que permitió que en 1994 se iniciase la explotación comercial a 300 km/h en los trenes AVE de larga distancia, reduciéndose en 40 min la duración del trayecto entre Madrid y Sevilla.

En 1987 comenzaron los proyectos para reformar el Corredor Mediterráneo y dotarlo de doble vía en toda su totalidad, proyecto del que en 1996 se inaugurarían los primeros tramos de alta velocidad, situados entre Vandellós y Oropesa del Mar, permitiendo circular al tren a 200 km/h en una infraestructura apta para esa velocidad. En el verano de 1997 entró en servicio comercial el tren Euromed, un tren de alta velocidad de ancho ibérico, que cubre la línea entre Barcelona y Alicante pasando por Tarragona, Castellón de la Plana y Valencia. Al Euromed se le sumaría en 1999 el Alaris, circulando entre Madrid y Valencia por Albacete a una velocidad máxima de 200 km/h. Ambos servicios circulan en vías parcialmente compartidas con tren convencional y con algunos tramos de vía única.

3.2.9. COREA DEL SUR

El 16 de diciembre de 1999 se inauguró el primer tramo de alta velocidad ferroviaria del Asia continental, de 34,4 kilómetros de longitud. Este tramo forma parte de la línea que unirá a Seul con Busán. Pocos meses después se ampliaron hasta los 52 kilómetros, sirviendo este tramo de vía de pruebas para todos los sistemas de la línea.

Aunque los primeros 281 km de la línea (de los 412 previstos) se inauguraron oficialmente en el año 2004, entre Seúl y Daegu. La construcción de la segunda fase (que conectará Daegu con Busán) comenzó en junio de 2002 y se espera que se complete en 2010.

También está proyectada una línea de alta velocidad para la sección de Osong a Gwangju y Mokpo, y se espera que esté lista en 2017. Además, también se estaba considerando una extensión de Seúl hasta Gangneung, en la costa nordeste, decisión que dependía de la candidatura coreana para la organización de los Juegos Olímpicos de invierno de 2014.

3.2.10. TAIWÁN.

El gobierno de Taiwán reconoció a finales de los años ochenta que el crecimiento alrededor de la capital, Taipei, situada al norte del país, era muy desproporcionado. En un intento por aliviar la congestión del tráfico y promover el desarrollo socioeconómico fuera de la capital, se creó a principios de los años noventa la Corporación Ferroviaria de Alta Velocidad de Taiwán (THSRC), con el objetivo de diseñar y construir un enlace ferroviario de alta velocidad entre Taipéi y Kaohsiung, al Sur. La línea, de 345 km de longitud está concebida para transportar hasta 300.000 viajeros diarios, a una velocidad máxima de 300 km/h. La línea discurre por la zona oeste de la isla, muy densamente poblada.

La apertura de la línea de alta velocidad estaba inicialmente prevista para octubre de 2005. Esta fecha se retrasó al 31 de octubre de 2006, y, de nuevo, al 5 de enero de 2007, que es finalmente cuando se ha inaugurado.

El proyecto, con un coste de 13.146 millones de euros, es el proyecto de financiación privada más importante del mundo y ha sido construido mediante la fórmula construcción-explotación-traspaso (BOT son sus siglas en inglés). La concesión tendrá una duración de 35 años, tras lo cual, la línea se entregará al Estado.

El diseño requería que la línea de alta velocidad atravesara los túneles existentes bajo Taipéi, para luego penetrar en la nueva infraestructura. El tramo norte, de 185 km, posee 49 km de túneles y 95 km de viaductos, pues atraviesa un terreno montañoso. El tramo sur tiene una longitud de 157 km de viaducto continuo.

La mayoría de la vía es del tipo J-Placa, aunque el equipo de diseño optó por la vía en placa Rheda para los desvíos y puntos de transición en viaductos, así como por vías de baja vibración en los túneles bajo las ciudades.

3.2.11. REPÚBLICA POPULAR CHINA



Figura [12]; Maglev parado en la estación de Longyang; Fuente: [Wikimedia]

Una semana antes de los JJ.OO. de Pekín 2008 se inauguró la línea de alta velocidad interurbana que unía la ciudad con la cercana ciudad costera de Tianjin. La construcción de este nuevo ferrocarril empezó en el mes de julio de 2005, y significó un coste total de 21.500 millones de yuanes (3.100 millones de dólares). El ferrocarril interurbano Pekín-Tianjin, también la primera línea ferroviaria interurbana de alta velocidad en China, era la única vía férrea en el mundo en la que los trenes de pasajeros podían circular a una velocidad de 350 kilómetros por hora. Estas cifras se igualaron en el año 2009 momento en el que se pusieron en funcionamiento 2 líneas nuevas: Wuhan-Guangzhou y Xi'an y Zhengzhou.

Además de estas líneas de Alta Velocidad convencional, China cuenta con una línea de levitación magnética. Esta línea une a Shanghái con su aeropuerto, tardando tan sólo 7 minutos 20 segundos en recorrer los 30 km a una velocidad máxima de 431 km/h y una media de 250 km/h, siendo la única línea de cierta envergadura en funcionamiento en el mundo en la actualidad.



Figura [13]; Tren de Alta Velocidad en Asia. 300+ km/h 250–299 km/h 200–249 km/h En construcción otras vías férreas. Fuente [Wikimedia]

4. EL TREN DE ALTA VELOCIDAD.

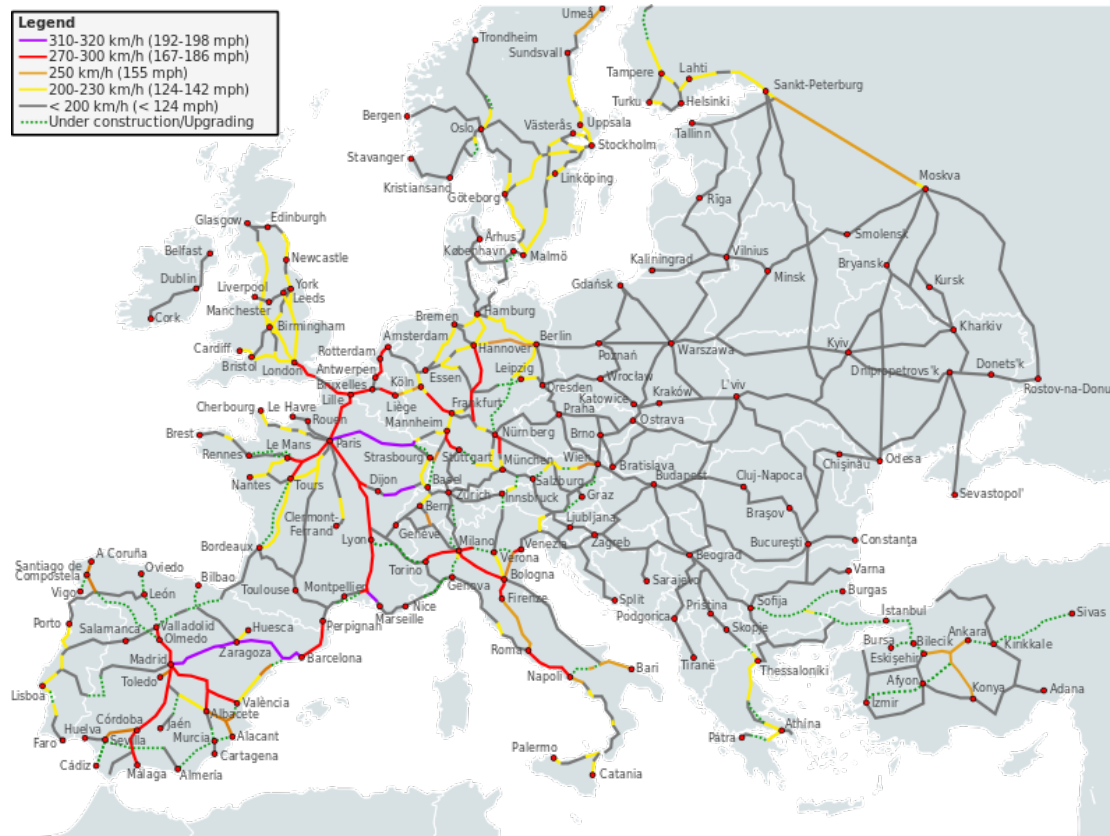


Figura [14]; Tren de alta velocidad en Europa. 320-350 km/h 270-300 km/h 250 km/h 200-230 km/h. Fuente: [Wikimedia]

Se denomina **Tren de Alta Velocidad (TAV)**, **tren rápido** o **tren bala** a aquel que alcanza velocidades superiores a 200 km/h sobre líneas existentes actualizadas, y 250 km/h sobre líneas específicamente diseñadas para tal efecto, según la UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles).

Su elevada velocidad les permite competir con el transporte aéreo para distancias medias, del orden de los cientos de kilómetros.

En todos los casos se trata de vehículos y vías férreas desarrolladas en forma unitaria, dado que las velocidades alcanzadas requieren de técnicas específicas.

El tren de alta velocidad está considerado como el medio de transporte más seguro del mundo, superando incluso al avión. En los últimos 40 años solo ha habido cuatro accidentes con víctimas mortales, siendo el más grave el accidente de Eschede.

Este accidente ocurrió en Alemania en 1998 y realmente no fue en una línea de alta velocidad sino en una convencional por la que circulaba un ICE 3 a 160 km/h. Es preciso resaltar que este tipo de tren llevaba hasta entonces ruedas divididas en dos partes unidas por un elastómero con el objetivo de disminuir el ruido de rodadura, tal como se venía utilizando desde hacía tiempo en algunos metros. Como la línea por la que circulaba no cumplía los estrictos parámetros geométricos de las de alta velocidad los golpes continuados sobre la llanta hicieron que ésta se desprendiera descarrilando el correspondiente bogie. Así circuló durante 6 kilómetros hasta que al pasar por un puente el coche descarrilado chocó con los apoyos arrastrando así al resto de coches que chocaron entre ellos produciéndose una gran catástrofe con cerca de 100 víctimas mortales. Desde entonces los trenes de alta velocidad sólo emplean ruedas enterizas.

Algo parecido puede decirse del accidente sufrido por una composición de Talgo en las proximidades de Santiago de Compostela en el verano de 2012. No era un tramo propiamente de alta velocidad donde ocurrió el accidente pero nuevamente y a raíz del mismo se incrementaron las medidas de seguridad para que este tipo de accidente no vuelva a repetirse.

El italiano ElettroTreno ETR 200 en 1939 fue el primer servicio comercial de tren de alta velocidad. Se logró el récord mundial de velocidad media en 1939, alcanzando los 203 km/h, cerca de Pistoia.



Figura: [15]; ElettroTreno ETR 200. Fuente: [Wikimedia]

4.1. EUROPA

4.1.1. ESPAÑA

En los años 1960 se comenzó en España a hacer pruebas de alta velocidad, superando los 200 km/h con un Talgo propulsado por una locomotora de la Serie 352 de Renfe y años más tarde con el prototipo de la Serie 443 de Renfe (el Platanito). No se empezó a estudiar como una propuesta real hasta el año 1986, cuando el Ministerio de Transporte preparó el Plan de Transporte Ferroviario (PTF). Ya en 1992 se inauguró la primera línea de alta velocidad en España con un ancho de vía de 1.435 mm, para la cual se adquirieron 18 trenes TGV (Tren a Gran Velocidad) fabricados por Alstom en ATEINSA (Serie 100 de Renfe), tren que puede alcanzar una velocidad máxima de 300 km/h.

4.1.1.1. AVE SERIE 100

La serie 100 de Renfe es la primera serie de trenes de alta velocidad de Renfe. Este tren es al que siempre se le ha denominado como *AVE*, acrónimo de Alta Velocidad Española, además su nombre es un juego de palabras en el que se compara al tren con la familia de las aves, pero lo cierto es que AVE es el nombre del servicio de alta velocidad de Renfe Operadora y con la llegada de nuevos modelos de trenes de alta velocidad utilizar el término AVE para referirse a un tren puede llevar a error.

Serie 100 de Renfe



Unidad en Sevilla	
Serie	
Tipo	Tren Eléctrico de Alta Velocidad
Fabricante	Alstom / MTM, Meinfesa, Alcatel y Faiveley CAF/ Sepsa y Stone Iberica
Año de fabricación	1992
Unidades fabricadas	24
Configuración	
Composición	M-8R-M
Disposición de los ejes	Bo'Bo'+2'2'2'2'2'2'2'2'+Bo'Bo'
Longitud	200,150 m
Anchura	2,904 m
Altura	4,28 m
Peso	392 t (en vacío)
Características técnicas	
Ancho de vía	1435 mm
Electrificación	25 kV 50 Hz (AC)

	25 kV 50 Hz (AC) / 1.5 kV (CC)
Velocidad máxima	300 km/h
Potencia	8.800 kW
Motores	8 Trifásicos síncronos auto pilotados SM44-39-B de 1100 kW
Número de plazas	347
Sistemas de seguridad	LZB 80, ASFA 200, ERTMS (9 unidades)
Mando múltiple	Sí

La serie 100 está fabricada por Alstom que deriva directamente del TGV Atlantique francés, está compuesta por 2 cabezas tractoras de 4.440 kW de potencia con 2 bogies motorizados cada una (total 4) y 8 remolques articulados con bogie compartido de suspensión secundaria neumática (SR10) , con lo que el tren suma 13 bogies, 4 de las 2 tractoras y 9 de los 8 remolques. A diferencia del modelo francés, este tiene ASFA 200 y LZB 80 como sistemas de señalización, además en el 2004 se incluyeron a 9 de estos trenes el sistema ERTMS, 8 remolques en vez de 10, sistemas de refrigeración adaptados a las temperaturas de España, así como un diseño interior y exterior algo diferente.

Esta serie, concretamente el tren 100-015, consiguió uno de los records de velocidad más importantes en España, alcanzando los 356,8 km/h sin apenas realizar modificaciones en él, siendo superado 15 años después por el S-103 (Siemens Velaro E) que alcanzó los 403,7 km/h también sin modificaciones. El S-100 ya había alcanzado anteriormente casi los 330 km/h en el proceso de homologación a 300 km/h. También fue usada para realizar pruebas con coches de Talgo.

4.1.1.2. MATERIAL RODANTE

- **AVE Euromed, serie 101**

El Euromed es un servicio de Alta Velocidad que surca el *Corredor Mediterráneo*, producto de Renfe desde julio de 1997 para dotar de mayor velocidad a las relaciones entre Barcelona y Alicante. Es el mismo tren que el AVE serie 100 y deriva directamente también del TGV-Atlantique.

Asimismo fueron fabricados por la multinacional francesa GECAlsthom. Aunque son idénticos a la serie 100, esta serie utiliza el ancho de vía ibérico y la tensión de 3 kV de las líneas tradicionales, por lo que la potencia efectiva es menor y la velocidad máxima a la que circula es de 220 km/h.

Las cuatro primeras unidades del 101 han sido convertidas a la serie 100. Las restantes dos unidades dejarán de prestar servicio Euromed al finalizar el verano para hacer servicios AVE previo paso por taller.

Desde el 2 de noviembre de 2009, todos los servicios Euromed son prestados por trenes de la serie 130.

- **AVE Talgo 350, Serie 102**

El Talgo 350, apodado *Pato* por los aficionados al ferrocarril, es un tren diseñado por Talgo y Bombardier para la línea de Alta Velocidad Madrid–Campo de Tarragona, Zaragoza–Huesca y las nuevas líneas Madrid–Valladolid y Madrid–Málaga

- **AVE Siemens Velaro Serie 103**

El ICE-350E, apodado *Velaro* por Siemens, es un tren derivado del ICE-3 en su versión *Mehrsystem* de Siemens para la línea de Alta Velocidad Madrid–Barcelona sin paradas intermedias.

- **AVE Talgo 350, Serie 112**

La Serie 112 de Renfe es una evolución del AVE Serie 102 de Renfe. Presta servicio en la Línea de alta velocidad Madrid-Levante y en los trayectos Barcelona-Sevilla y Barcelona-Málaga. Este tren al igual que el Serie 102 está fabricado por Talgo.

- **Avant Alstom Pendolino Serie 104**

El Avant, apodado *Iris* por Renfe, es un tren fabricado por CAF y Alstom en Santa Perpetua de Moguda, en Barcelona. Deriva directamente del Alaris español. Presta servicio en las líneas Madrid–Puertollano y Madrid–Toledo, además de algunos servicios especiales de refuerzo entre Madrid y Córdoba/Sevilla.

- **Avant Alstom Pendolino Serie 114**

El serie 114 es el Pendolino de nueva generación, el sucesor del Serie 104 y 490 (Alaris). Fabricado por Alstom.

Actualmente se utiliza en las relaciones Madrid-Segovia-Valladolid y Barcelona-Tarragona-Lérida, además de en algunos servicios AV Barcelona-Zaragoza.

- **Alvia CAF ATPRD Serie 120**

El Alvia, apodado sepia o chipirón por los aficionados al ferrocarril, es un tren de nuevo diseño fabricado por CAF en su factoría de Beasáin, en Guipúzcoa, para circular por todas las líneas electrificadas de ADIF, utilizando para ello el bogie *Brava* de CAF, de ancho variable, y pantógrafos para 25 KV 50 Hz (AC) y 3 KV (CC).

- Servicios que presta: Madrid–Logroño, Madrid–Pamplona y Madrid–Valladolid-Irún/Bilbao, utilizando parcialmente la LAV Madrid–Barcelona, además del servicio Alvia Madrid-Huelva (realizado anteriormente por trenes de la serie 130). Está previsto también su empleo en los corredores Barcelona–Valencia y Valencia–Madrid, en el que han efectuado ya labores de refuerzo en los servicios Alaris. Desde el 15 de septiembre de 2008 realizan también un nuevo servicio Barcelona-Vigo, aunque actualmente lo llevan a cabo los trenes de la serie 130, que ofrecen un mayor número de plazas.

- **Avant CAF AVR Serie 121**

Los trenes de la serie 121 son trenes fabricados por CAF. Se destinan a servicios de media distancia e Intercity. Pueden circular por vías de ancho convencional y ancho europeo a una velocidad máxima de 250 km/h. Todas las plazas son comercializadas en clase turista.

- **Alvia Talgo 250 / Serie 130**

La serie 130, apodada *Patito* o Minipato por los aficionados al ferrocarril, es un tren que se compone de coches Talgo de la serie 7 unidos a dos cabezas tractoras fabricadas por Bombardier. Para formar la serie 130 se han ampliado las 22 ramas de Talgo serie 7 fabricadas en 2000 en dos coches más hasta totalizar 11 coches por rama, se han hecho modificaciones para añadir hilo de 25 kV en el techo como en el Pato Serie 102 para comunicar ambas cabezas tractoras, y se han cambiado los testers con una barra rígida para acoplar la cabeza tractora en vez del gancho. Las restantes 23 unidades serán de nueva construcción con las tractoras incorporadas.

Se han realizado pruebas por toda España tanto en ancho ibérico como en ancho UIC, y actualmente prestan servicio en la línea de Alta Velocidad de Valladolid, que se prolongan — gracias a su ancho variable— hasta Gijón y Santander. También circulan también por la LAV de Sevilla, realizando servicios hasta Cádiz.

Además, estos trenes también realizan servicios por Levante y Cataluña. Desde el día 14 de diciembre de 2008 sustituyen a los Euromed S-101 que operaban en la línea Barcelona – Valencia – Alicante

También son utilizados en el servicio Barcelona-Vigo/La Coruña que es actualmente el servicio Alvia más largo de toda España. Según el día, los trenes llegan o salen de Vigo o La Coruña.

- **Alaris Fiat Pendolino Serie 490**

El Alaris es un tren derivado del ETR-460 de los ferrocarriles italianos Trenitalia, fabricado por GEC-Alstom y Fiat Ferroviaria. Circulan entre Valencia y Madrid a una velocidad de 200 km/h.

- Líneas: Madrid–Valencia, Valencia–Gandía, Valencia–Castellón de la Plana.

- **Alvia Talgo 250h / Serie 730**

Los trenes Alvia de la serie 730 son trenes que pueden prestar servicio por líneas convencionales y líneas de alta velocidad, además de por líneas electrificadas y no electrificadas. Es una variación de los trenes de la serie 130, pero estos sólo pueden prestar servicio por líneas electrificadas.

- **Locomotoras serie 252**

Las 252 son locomotoras universales y muy versátiles construidas por CAF-Macosa (ahora Alstom), Siemens y Krauss-Maffei para el N.A.F.A. *LAV Madrid–Sevilla*. Las locomotoras 252 han rodado en pruebas por 7 países diferentes (España, Alemania, Francia, Luxemburgo, Austria, Checoslovaquia e Italia).

- **Talgo VI**

Este tren no automotor es la evolución del *Talgo Pendular*, fabricado a principios de los años 90 por Talgo para circular por el N.A.F.A., por la línea de alta velocidad Madrid–Sevilla. En la actualidad proporciona servicios Altaria en las relaciones Madrid – Granada y Madrid – Algeciras, en ambos casos utilizando parcialmente el trazado de la LAV Madrid-Sevilla y Córdoba-Málaga.

- **Arco**

Los trenes no automotores Arco surgieron de una profunda transformación realizada a los coches *B11x-10200* (Serie 10000 de segunda clase) de Renfe, dotándolos de nuevos bogies aptos para 220 km/h. La transformación corrió a cargo de Renfe en el TCR de Málaga y los bogies son modificaciones del modelo GC-1 de CAF denominados GC-3, que permiten alcanzar un alto grado de confort a grandes velocidades.

Estos coches de viajeros han prestado servicio en el *Corredor Mediterráneo* cubriendo la relación transversal Barcelona – Almería/Badajoz/Granada/Málaga/Sevilla con el tren conocido

como *Arco García Lorca*; hasta que en septiembre de 2011 fueron sustituidos por un servicio Alaris con automotores Serie 490. También han dado servicio en el *Corredor Mediterráneo* en la relación Portbou-Barcelona-Alicante-Murcia.

Actualmente solo funcionan en el *Arco Camino de Santiago* que une el País Vasco con Galicia y el que une Madrid y Valencia vía Alcázar de San Juan, bajo la denominación de Intercity.

4.1.1.3. LINEAS ALTA VELOCIDAD

En la actualidad, España cuenta con una red de alta velocidad en expansión y una gran cantidad de modelos de trenes de alta velocidad, con diferentes tecnologías y soluciones de desarrollo propio, como el tren de muy alta velocidad Talgo AVRIL, o las aportadas por CAF para resolver problemas de diferentes anchos de vías o diferentes sistemas de señalización, además de llevar a la implantación comercial de velocidades cada vez más altas. El Gobierno Español cuenta tras la inauguración a finales de 2010 de la LAV Madrid-Valencia, con la segunda mayor red de alta velocidad ferroviaria existente, llegando a los 2.230 km, superando a países con alta tradición en esta tecnología, como Japón o Francia, e inmediatamente por debajo de China.



Figura: [16]; Líneas de alta velocidad en enero de 2013. Fuente: [Ferropedia]

Los días 22 y 23 de diciembre de 2007 fueron inauguradas al público las líneas Madrid-Valladolid y Córdoba-Málaga, respectivamente. En marzo de 2008, con cierto retraso y salvando algunos problemas estructurales en la línea, también ha sido inaugurada oficialmente la línea Madrid-Barcelona (que ya unía Madrid con Zaragoza, Tarragona y Lérida).

Líneas convencionales adaptadas para 200/220 km/h:

—**Corredor Mediterráneo:**

135,9 km Vandellós-Castellón (160,7 km a 220 km/h)

039,7 km Moncófar-Alboraya (220 km/h)

041,9 km Xátiva-La Encina (220 km/h) (también forma parte de la línea Madrid-Valencia)

—**Línea Zaragoza-Huesca:**

052,9 km Bifurcación Huesca-Tardienta (ancho estándar)

—**Línea Madrid-Valencia:**

027,2 km Arenales-Socuéllamos

032,2 km La Roda-Albacete

—**Variante de Burgos:**

014,5 km Bif. Aranda-Bif. Rubena Aguja km 377,3

—**Eje Atlántico Santiago-A Coruña:**

101,9 km Uxes-Km 387,2, Bif. Angueira-Bif. San Amaro y Pontevedra-Redondela

—**Línea Sevilla-Cádiz:**

43,0 km Las Cabezas de San Juan-Jerez de la Frontera Mercancías

11,6 km Del pk 110,680 al 122,294, trayecto Jerez de la Frontera-Puerto de Santa María

—**Línea Ciudad Real-Badajoz:**

026,8 km pk 471,5-Guadiana

Total: 527,6 km

4.1.2. FRANCIA

Los franceses fueron pioneros en la investigación y desarrollo de los trenes de alta velocidad. No en vano, el TGV (Train à Grande Vitesse) es uno de los trenes convencionales más veloces del mundo, operando en algunos tramos a velocidades de hasta 320 km/h. El martes 13 de febrero de 2006, el Tren de Gran Velocidad (TGV) francés consiguió superar su récord de velocidad en el tramo de París a Estrasburgo, alcanzando los 553 km/h. Su anterior plusmarca data de 1990, cuando llegó a circular a 515,3 km/h. Para obtener esta velocidad punta se empleó una configuración especialmente preparada para la ocasión, formada por tres vagones de pasajeros y dos locomotoras, si bien no ha sido reconocida oficialmente por la SNCF ni Alstom. Ostenta el récord de mayor velocidad media en un servicio de pasajeros y el de mayor velocidad en condiciones especiales de prueba, habiendo alcanzado la velocidad de 574,8 km/h en el año 2007.

El 3 de abril de 2007, un tren *Alstom V-150* batió el récord mundial de velocidad sobre raíles al circular a 574,8 km/h en uno de los tramos de la nueva línea de alta velocidad de París a Estrasburgo. Esta proeza técnica, preparada durante meses, fue realizada por la empresa ferroviaria francesa (SNCF), la red de líneas férreas propietaria de las vías, y el constructor del tren, Alstom. La potencia del tren se aumentó para la ocasión: varios motores suplementarios fueron colocados a lo largo del vehículo, y las ruedas eran mayores que las de un TGV ordinario, para que se alcanzara una gran velocidad sin calentar en exceso la maquinaria. Al mismo tiempo, se incrementó la potencia eléctrica sobre la línea y se reforzó la catenaria que alimentaba el tren, así como el balasto, la capa de grava que se extiende sobre la explanada de los ferrocarriles para asentar y sujetar sobre ella las traviesas; todo ello con el fin de soportar las intensas vibraciones.

TGV



TGV Réseau en la Estación del Este (París)

Tipo	Alta velocidad
Fabricante	Alstom
Año de fabricación	1981
Configuración	
Composición	M+8R+M
Longitud	200 a 394,7 m (según versión)
Altura	2,81 a 2,9 m (según versión)
Peso	380 a 752 Tn (según versión)
Características técnicas	
Ancho de vía	1.435 mm
Electrificación	1.500 V cc / 25.000 V ca (con variantes según versión)
Velocidad máxima	300 kilómetros por hora (186 millas por hora)
Potencia	6.450 a 12.240 kW (según versión)
Número de plazas	345 a 791 (según versión)
Sistemas de seguridad	TVM (con variantes según versión)
Mando múltiple	2 unidades

El **TGV** (Tren de Gran Velocidad, del francés, Train à Grande Vitesse) es una serie de trenes de alta velocidad desarrollada por Alsthom (actualmente Alstom) y la compañía de ferrocarriles nacional francesa SNCF, y operada principalmente por la propia SNCF. También se denomina TGV a los servicios realizados con este tipo de trenes, y en general, a la alta velocidad en Francia.

La inauguración del servicio de este tren tuvo lugar con el trayecto entre París y Lyon en 1981. Actualmente la red del TGV conecta París con otras ciudades de Francia y con sus países vecinos. Se dedica principalmente al transporte de pasajeros, aunque existe una versión postal. Entre 1981 y 2013 la red de TGV transportó dos mil millones de pasajeros.

El éxito de la primera línea favoreció la expansión del servicio, con nuevas líneas construidas hacia el sur, oeste y noreste de Francia. Deseosos de imitar el éxito de la red francesa, algunos países vecinos como Bélgica, Italia o Países Bajos construyeron también sus propias líneas de alta velocidad. Actualmente, las líneas francesas de alta velocidad enlazan con las Bélgica, Alemania, Países Bajos, Luxemburgo, Italia, Suiza, España e incluso, con las del Reino Unido. Otras redes de alta velocidad utilizan trenes derivados de los TGV (KTX, S100...).

4.1.2.1. CARACTERÍSTICAS TGV

Son trenes diseñados para circular por líneas de alta velocidad, que disponen de algunas características especiales, como capacidad para alimentar trenes de gran potencia, traviesas y aparatos de vía especiales o sistemas de señalización en cabina que eliminan la necesidad del maquinista de identificar las señales a gran velocidad. También pueden circular por líneas convencionales a menor velocidad.

El TGV ha absorbido una gran cantidad de los desplazamientos nacionales que antes se realizaban en avión, debido a la reducción del tiempo de viaje, especialmente para los trayectos de menos de 3 horas. El viaje en tren se completa en un tiempo menor por la ausencia de tiempos de espera propios de los aeropuertos (facturación, controles de seguridad, embarque, retrasos...). También le beneficia la localización de las estaciones, situadas dentro de las ciudades. Por otra parte, el TGV es un medio de transporte muy seguro, que no ha tenido apenas accidentes al circular por líneas de alta velocidad.

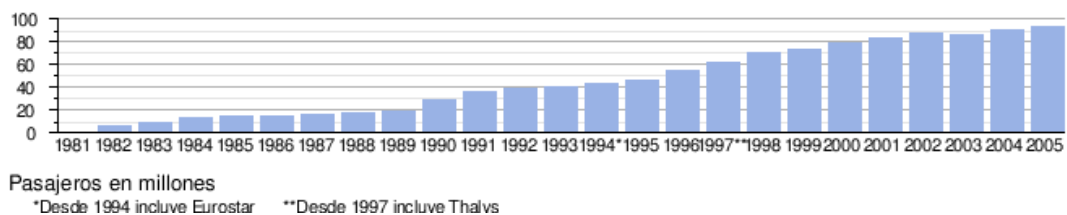




Figura: [17]; Prototipo TGV 001 de turbinas de gas. Fuente: [Ferropedia]

Originalmente estaba planeado que el TGV, entonces acrónimo de très grande vitesse (muy alta velocidad) o turbine grande vitesse (turbina de gran velocidad), estuviese propulsado por locomotoras de gas turbo eléctricas. Las turbinas de gas fueron seleccionadas por su reducido tamaño, su buena relación de potencia por peso y la capacidad de administrar una gran salida de potencia durante un largo período.

El primer prototipo, el TGV 001 fue el único TGV construido con este tipo de motor, debido a la gran subida en el precio del petróleo durante la crisis energética de 1973, las turbinas de gas fueron calificadas como impracticables y el proyecto dio un giro hacia la electrificación de alta tensión en las líneas del tren. La electricidad iba a ser generada por las nuevas centrales nucleares de Francia.

Sin embargo, el TGV 001 no fue un prototipo inservible. Su turbina de gas turbo eléctrica fue sólo una de las muchas tecnologías necesarias para los viajes a alta velocidad sobre raíles. También se probaron los frenos de alta velocidad que fueron necesarios para disipar la gran cantidad de energía cinética del tren operando a gran velocidad, así como la aerodinámica para alta velocidad y la señalización. El diseño de este tren tenía los remolques articulados, lo que significa que entre dos remolques, se comparte un bogie. Este modelo alcanzó los 318 km/h y esta velocidad aún permanece como el récord del mundo de velocidad para un tren a turbina de gas. Su interior y exterior fueron diseñados por el británico Jack Cooper, que trabajó en las formas básicas de los siguientes diseños del TGV, incluyendo el afilado morro de los coches de cabina.

Cambiar las especificaciones del TGV para incorporar la tracción eléctrica requirió una significativa revisión en el diseño. El primer prototipo eléctrico, apodado **Zebulon**, fue terminado en 1974. Se probaron características como el novedoso montaje del motor en la carrocería, los pantógrafos, la suspensión y los frenos. El montaje de los motores en la propia carrocería permitió reducir el peso de los coches motores del tren en unas 3 t. Este prototipo viajó durante más de 1.000.000 km en su periodo de pruebas.

4.1.2.2. VÍAS



Figura: [18]; TGV-R entrando en Béziers, Hérault Fuente: [wikimedia];

El TGV circula en líneas de alta velocidad permitiéndole alcanzar velocidades de hasta 320 km/h en las líneas más nuevas. Originalmente, las líneas de alta velocidad estaban definidas como líneas para permitir velocidades mayores de 200 km/h aunque esta directiva fue redefinida para alcanzar los 250 km/h. Los trenes TGV también pueden circular por trazados convencionales aunque para mantener la seguridad en estas líneas, su velocidad máxima es de 220 km/h. Esta es una ventaja del TGV sobre otros trenes, como por ejemplo los trenes de levitación magnética ya que los TGV pueden dar servicio a más destinos aunque no exista una línea específica, actualmente tienen 200 destinos en Francia y alrededores.

4.1.2.3. DISEÑO DEL TRAZADO

La construcción de las líneas de alta velocidad es bastante similar a la de las líneas tradicionales, pero con una pequeña diferencia, el radio de las curvas es mayor para que los trenes puedan atravesar las curvas a mayores velocidades sin aumentar la fuerza centrífuga que sentirán los pasajeros. El radio de los trazados de alta velocidad históricamente estaba limitado a curvas de más de 4 km de radio pero en las nuevas líneas tienen que tener un radio mínimo de 7 km para los futuros aumentos en la velocidad.

Si la línea únicamente se usa para el tráfico de alta velocidad, las líneas pueden tener pendientes más pronunciadas. Esto facilita la planificación de las líneas de alta velocidad y reduce los costes de construcción. El considerable momento lineal de los trenes TGV a alta velocidad les permite poder ascender por estas pendientes sin un gran incremento en el consumo de energía. También pueden superar los descensos, mejorando la eficiencia del consumo. Las características de la LN1 (Paris-Sud-Est) es que alcanza pendientes de hasta el 3,5% y trazados como la línea alemana entre Colonia y Fráncfort alcanzan el 4%.

La alineación de las vías es más precisa que en los trazados convencionales y el balasto está colocado más profundamente que en el perfil común, el resultado es un incremento de la carga que pueden soportar las vías y una mejora en la estabilidad. Las vías están ancladas por más traviesas por kilómetro de lo común y todas tienen unas características especiales. El carril es del tipo UIC 60, (60 kg/m) y traviesa de hormigón. El uso de soldadura continua en los carriles en vez de las soldaduras cortas para unirlos aumenta la comodidad del viaje a alta velocidad, evitando el traqueteo que producen las uniones de los raíles en una línea convencional.

El diámetro de los túneles también debe de ser mayor de lo normal, especialmente la entrada; la finalidad de este aumento de diámetro es reducir los efectos de los cambios de presión de aire que pueden ser más problemáticos en los trenes de alta velocidad por las velocidades alcanzadas por el TGV.

4.1.2.4. LIMITACIONES DE TRÁFICO

Normalmente, los trenes que no son capaces de alcanzar una alta velocidad no deberían circular por las LAV, líneas reservadas especialmente para los TGV. La justificación para esta restricción es la severa disminución de la capacidad de la línea cuando circulan trenes de diferentes velocidades a la vez, ya que los rápidos alcanzan a los lentos y es necesario detener a los rápidos o dejar mucho espacio entre ellos. El tráfico de mercancías y el de pasajeros en conjunto también constituye un riesgo de seguridad, ya que la carga de los coches de mercancías puede desestabilizarse debido a las turbulencias de aire que acompañan a los rápidos TGV en los cruces. El mantenimiento en las líneas de alta velocidad se realiza por la noche, cuando no hay TGVs en circulación.

Por otra parte las pendientes de estas líneas podrían limitar el peso de los lentos trenes de mercancías, para resolver estos problemas debería aumentarse aún más el radio de las curvas con el incremento de coste asociado.

4.1.2.5. ALIMENTACIÓN

Las líneas de alta velocidad de la red TGV están electrificadas con corriente alterna a 25 kV y 50 Hz. Los hilos de la catenaria se mantienen a una tensión mayor que en las líneas normales, ya que el pantógrafo provoca oscilaciones en ellos, y la onda debe viajar más rápido que el tren para evitar producir ondas estacionarias que pudieran causar la rotura del cable. Este fue uno de los problemas que se presentaron cuando se consiguió el récord de velocidad sobre raíles en 1990.

La tensión de la catenaria tuvo que incrementarse aún más para permitir al tren velocidades superiores a los 400 km/h, no sin antes también cambiar el transformador-reductor del interior de los coches motores. En los trazados de alta velocidad, sólo está en funcionamiento uno de los dos pantógrafos del tren, el trasero es el que está elevado, impidiendo la ampliación de las oscilaciones que provocaría el pantógrafo delantero. La tensión para los motores del coche motor delantero se transfiere mediante un cable de alta tensión que recorre el tren por el techo. Sin embargo, los trenes Eurostar, al ser más largos, no tienen este problema, debido a que las oscilaciones se reducen lo suficiente entre la cabeza y la cola del tren como para que ambos pantógrafos puedan estar alzados con seguridad, evitando de este modo que ese cable de alta tensión atravesase el tren. En las líneas clásicas, al plantearse velocidades mucho menores, no existen los problemas de oscilación, de manera que en las líneas de corriente continua ambos pantógrafos están alzados.

Las diversas series de trenes TGV admiten además varias electrificaciones para poder acceder a las líneas convencionales de diferentes países, que utilizan sistemas diferentes.

4.1.2.6. SEPARACIÓN.

Las líneas de alta velocidad están cercadas durante todo su trazado para prevenir que animales o personas atravesasen las vías. Los pasos a nivel no están permitidos y los puentes sobre la línea están equipados con sensores que detectan la caída de objetos a las vías.

Todos los cruces de una LAV se producen por pasos a desnivel, ya sea mediante túneles o pasos elevados evitando de este modo la necesidad de cruzar frontalmente el trazado.

4.1.2.7. SEÑALIZACIÓN



Figura: [19]; Cabina de un TGV Duplex en Figueras-Vilafant. Fuente: [Wikimedia];



Figura: [20]; Señal del límite de bloque. Fuente: [Wikimedia]

Debido a la alta velocidad de los TGV, los maquinistas de estos trenes no son capaces de ver y reaccionar a las señales de ferrocarril como ocurre en las líneas normales. Por eso los TGV incorporan un sistema de señalización en cabina. En la red francesa se utiliza el sistema TVM (Transmission Voie-Machine, ó transmisión vía a tren) usado para la señalización de las LAV. La información se transmite al tren mediante la transmisión de pulsos eléctricos a través de circuitos de vía, informando de la velocidad, velocidad máxima o indicaciones de parada y arranque directamente al tablero de mandos de la cabina del tren. Esta automatización no exime al maquinista del control de conducción del tren, pero es un sistema de seguridad que sí puede detener el tren en caso de que el maquinista esté cometiendo un error.

La línea está dividida en bloques de señales cada 1,5 km. Los límites están marcados por unos tableros de fondo azul con un triángulo amarillo. En el tablero de mandos de la cabina se muestra la máxima velocidad permitida para los trenes en el tramo en uso y también la velocidad objetivo basada en el perfil de la línea. La velocidad máxima permitida se determina en base a factores como la proximidad con los trenes de adelante (con un descenso de la velocidad en función del número de bloques de distancia con el tren de adelante), la colocación de los desvíos, restricciones de velocidad, la velocidad máxima del tren y la distancia hasta el final de la línea. Como los trenes normalmente no pueden parar en un único bloque (la distancia de frenado va desde unos cientos de metros a unos pocos kilómetros), los maquinistas son alertados para reducir la velocidad gradualmente durante varios bloques antes del stop requerido.

Existen dos versiones de los sistemas de señalización TVM, el TVM-430 y el TVM-300, que son utilizados en las líneas de alta velocidad del TGV. El TVM-430 es un sistema más nuevo, que fue instalado por primera vez en la LGV Nord del túnel del Canal y Bélgica, y que proporciona a los trenes más información que el TVM-300.

Entre otros beneficios, el TVM-430 permite a la computadora de a bordo generar un control continuo de la curva de velocidad en caso de la activación del freno de emergencia, forzando al maquinista a reducir la velocidad con más seguridad sin soltar el freno.

El sistema de señalización normalmente es permisivo: el maquinista del tren puede entrar en un bloque ocupado por otro tren sin obtener ninguna autorización, pero la velocidad en esta situación está limitada a 30 km/h y si la velocidad supera los 35 km/h los frenos de emergencia se activan hasta que el tren se pare. Si el tablero de mandos ha marcado la entrada al bloque con el código Nf, no se permite la entrada al bloque y el conductor deberá obtener una autorización desde el PAR (Poste d'Aiguillage et de Régulation, Centro de control de señalización) antes de entrar. Una vez que la circulación está habilitada o el PAR ha aceptado la autorización se enciende una lámpara blanca sobre el tablero para informar al maquinista. Éste confirma la autorización usando un botón en el panel de control del tren. Esto desactiva la frenada de emergencia que se produciría al pasar por el circuito de vía adyacente al bloque de paso no permitido.

Cuando los trenes entran o salen de las LAV desde las líneas clásicas, el tren pasa sobre un circuito de vía que automáticamente cambia un indicador del tablero del maquinista para activar el sistema de señalización apropiado. Por ejemplo, un tren saliendo de una LAV a una línea clásica debería desactivar su sistema de señalización TVM y activar el tradicional sistema francés KVB (Contrôle Vitesse par Balise, Control de velocidad por baliza).

Los TGV también incorporan otros sistemas de seguridad, propios de aquellos países en donde se efectúan instalaciones.

4.1.2.8. ESTACIONES

Una de las principales ventajas del TGV sobre otras tecnologías de transporte rápido sobre raíles como los trenes de levitación magnética es que los TGVs tienen la ventaja de las infraestructuras ya existentes. Esto permite conectar los centros de las ciudades (como París-Gare de Lyon a Lyon Perrache) realizando un mínimo gasto económico en las estaciones; Los TGVs a menudo usan vías interurbanas y estaciones construidas para trenes de velocidad lenta.

Sin embargo, los diseñadores de las rutas de alta velocidad han tenido cuidado de construir nuevas estaciones en áreas suburbanas o en zonas periféricas de las ciudades. Esto permite a los TGVs parar sin incurrir en una gran penalización de tiempo. En algunos casos, las estaciones han sido construidas a medias entre dos comunidades. La estación que sirve a Montceau-les-Mines y Le Creusot es un ejemplo de este enfoque y otro ejemplo más controvertido es la estación de Haute Picardie (Alta Picardía), entre Amiens y San Quintín.

La prensa y las autoridades locales criticaron que Haute Picardie estaba demasiado lejos para la conveniencia de la población y demasiado lejos de las conexiones ferroviarias para ser útil a los pasajeros. La estación fue llamada la gare des betteraves traducido como estación de las remolachas porque está rodeada por campos de remolacha. Este apodo se aplica ahora a las estaciones que están en condiciones similares, por la lejanía del centro de las ciudades independientemente de que estén rodeadas por campos de cultivo de remolacha o no.

Pero también han sido construidas un gran número de nuevas estaciones para los servicios del TGV, algunas de ellas son grandes logros arquitectónicos. La estación del TGV de Avignon, inaugurada en 2001 ha sido una de las que más alabanzas han recibido de toda la red, con una espectacular cúpula de cristal de 340 m que ha sido comparada con una catedral.

4.1.2.9. MATERIAL RODANTE



Figura: [21]; Un TGV en París. Fuente: [Wikimedia]



Figura: [22]; Eurostar y Thalys cara a cara en París. Fuente: [Wikimedia]

Los coches del TGV se diferencian de otro tipo de trenes en que están unidos de manera semipermanente. Los bogies están situados entre dos coches, disponiendo cada uno de ellos de dos bogies en los extremos y cada bogie es compartido con otro coche, excepto en el caso de los coches motores de cabeza y de cola, que además del bogie compartido tienen uno propio. Por lo tanto tienen $n+1$ bogies, siendo n el número de coches que dispone el tren.

Este diseño utilizado hace más de 60 años por Talgo en sus trenes articulados tiene múltiples ventajas, durante un descarrilamiento el coche motor que es el primero de la composición y se mueve independientemente de los remolques de pasajeros se mantendrá sin volcar con este sistema, en los trenes normales puede romperse el enganche y que los primeros coches vuelquen o salgan en cualquier dirección.

Una desventaja de este diseño es la dificultad para separar la composición, mientras los coches motores del TGV pueden ser desenganchados del resto del tren y trasladados por otros trenes mediante acoples especiales entre el gancho de husillo, y el scharfemberg, los coches deben ser desmontados de los trenes con un sistema que levante el tren completo de una vez. Una vez desemparejados cada uno de los coches se queda con un único bogie impidiendo que pueda remolcarse por las vías.

SNCF opera una flota de unos 400 TGVs. Tienen 7 tipos de TGV o derivados del TGV que actualmente operan en la red ferroviaria francesa; estos son el TGV Sud-Est (pasajeros y la variedad postal La Poste), TGV Atlantique, TGV Réseau, el Thalys PBA, Eurostar, TGV Duplex y Thalys PBKA, y un séptimo tipo, TGV POS (que unirán Francia con el sur de Alemania) está actualmente en pruebas.

Todos los TGV son al menos bi-tensión, que significa que pueden operar a 25 kV 50 Hz CA en las líneas nuevas (LAVs) y a 1,5 kV CC en las líneas antiguas. Los trenes que cruzan la frontera de Alemania, Suiza, Bélgica, Países Bajos y Reino Unido son tritensión, o politensión para poder circular por las líneas extranjeras, en el caso de Italia y Bélgica, los Thalys, y TGV que circulan por esos países van equipados con una mejora en el transformador principal de los coches motores que les permite utilizar los 3 kV CC de las líneas de ambos países, y los que circulan por Suiza, o Alemania, van equipados con un transformador especial que permite además de éstas tres tensiones, los 15 kV 16 (2/3) Hz de esos países. Todos los TGVs están equipados con dos pares de pantógrafos, dos para las tensiones alternas y otros dos para las tensiones continuas, y las ramas especiales para circular por Suiza, llevan pantógrafos de gálibo suizo, es decir, más pequeños, para poder adaptarse a los muchos túneles de la red suiza.

Cuando pasan entre áreas de diferentes tensiones, la cabina, recuerda al maquinista que desactive la potencia de los motores de tracción, que baje los pantógrafos, ajuste en cabina el sistema de tensión adecuado y que eleve de nuevo los pantógrafos.

Los pantógrafos, así como el control de su altura se seleccionan automáticamente de acuerdo en el sistema de tensión elegido por el maquinista. Una vez que el tren detecta en sus transformadores que el suministro es correcto, se indica en cabina mediante una luz y el maquinista puede dar tensión nuevamente a los motores de tracción.

4.1.2.10. TGV SUD-EST



Figura: [23]; Una composición del TGV Sud-Est con sus colores originales. Fuente: [Wikimedia];

La flota Sud-Est fue construida entre 1978 y 1988 con el objetivo de encargarse del primer servicio del TGV, que comenzó a funcionar entre París y Lyon en 1981. Actualmente hay 107 unidades de pasajeros operativas, de las cuales, nueve son tri-tensión (la tercera tensión son los 15 kV, 16 2/3 Hz CA para las líneas suizas) y el resto bi-tensión. Hay también 7 composiciones bi-tensión sin asientos preparadas para transportar correo postal para La Poste entre París y Lyon. Estos trenes son bastante peculiares, debido en parte a sus colores amarillentos.

Cada configuración consta de 2 cabezas tractoras y 8 remolques de pasajeros con 345 plazas sentadas. Con un bogie con tracción en cada uno de los coches adyacentes a las cabezas. Miden 200 m de longitud y 2,81 m de ancho, su peso es de 385 ton y tienen una potencia de salida de 6450 kW a 25 kV de tensión. Inicialmente, este modelo fue construido para viajar a 260-270 km/h, pero la mayoría fueron actualizados para los 300 km/h durante su restauración a mitad de vida, preparándolos para la apertura de la LGV-Mediterranée. Unas pocas configuraciones que aún mantienen la velocidad máxima de 270 km/h operan en esas rutas, que en comparación con una LAV, suponen una distancia relativamente corta, como es el caso del enlace con Suiza a través de Dijón. SNCF no cree que deba realizarse un desembolso

económico destinado a la actualización de estos modelos, ya que el aumento de la velocidad apenas reduciría el tiempo de viaje.

4.1.2.11. TGV ATLANTIQUE



Figura: [24]; TGV Atlantique. Fuente: [Wikimedia];

La flota del TGV Atlantique (TGV-A) fue construida entre 1988 y 1992, consta de 105 composiciones bi-tensión que fueron construidas para la LAV Atlantique que entró en servicio en 1989. Estas composiciones miden 237 m de longitud y tienen un ancho de 2,9 m. Su masa es de 444 tm, están compuestas por dos cabezas motrices y diez remolques de pasajeros con una capacidad de 485 plazas sentadas. Fueron construidos para alcanzar una velocidad máxima de 300 km/h y ofrecen una potencia de 8.800 kW bajo una tensión de 25 kV.

La unidad 325 con una serie de modificaciones consiguió el 18 de mayo de 1990 el récord de velocidad del mundo en la nueva LAV antes de su inauguración. Entre las modificaciones había varias mejoras aerodinámicas, ruedas de mayor diámetro, un sistema de frenado mejorado para habilitar los tests de velocidad sobre los 500 km/h. La composición fue reducida a 2 cabezas motrices y 3 remolques de pasajeros para aumentar la relación de potencia/masa, siendo la masa de esta composición de 250 ton. Los tres remolques, incluido el coche bar en el centro es la composición mínima posible por la forma en la que están articulados.

Para alcanzar este récord también se aumentó la tensión en la catenaria, y también la tensión del hilo de la catenaria para que el convoy tuviese una mayor potencia.

4.1.2.12. TGV RÉSEAU



Figura: [25]; TGV-R 526 en la estación Gare du Nord de París. Fuente: [Wikimedia]

La primera composición Réseau (TGV-R) empezó a funcionar en 1993. 50 composiciones bi-tensión fueron encargadas en 1990 y otras 40 tri-tensión en 1992 y 1993.

Diez de los trenes tri-tensión componen Thalys y son también conocidos como Thalys PBA (*París Bruselas Ámsterdam*). Mientras que los trenes bi-tensión solo pueden utilizar las dos tensiones estándar de Francia (1,5 kVCC y 25 kV CA), los tri-tensión funcionan también a 3 kV CC, que es la tensión utilizada en Bélgica y otros países.

Están formados por 2 remolques de tracción que administran una potencia de 8.800 kW a 25 kV, como el TGV Atlantique, y 8 remolques de pasajeros, que suponen una capacidad de 377 plazas sentadas. La velocidad máxima es de 300 km/h. Tienen 200 m de longitud y una anchura de 2,9 m. Las configuraciones bi-tensión tienen un peso de 383 toneladas y las configuraciones tri-tensión, habilitadas para circular en Bélgica, tienen una serie de modificaciones, para respetar la máxima carga por eje de las líneas de ese país, entre las modificaciones se ha sustituido el acero por aluminio, en ejes huecos reduciendo la carga a 16 t/eje. Debido a las quejas de la incomodidad de los cambios de presión cuando se entra a gran velocidad en los

túneles de la **LGV-Atlantique**, las composiciones Réseau ahora tienen un aislamiento de presión.

4.1.2.13. EUROSTAR



Figura: [26]; Dos unidades del Eurostar en Waterloo. Fuente: [Treneando.com]

El tren Eurostar es esencialmente un TGV largo, modificado para poder funcionar en el Reino Unido y en el Eurotúnel. Las diferencias incluyen menor anchura, para poder ajustarse al gálibo británico. El diseño británico tiene motores de tracción asíncronos y una gran protección contra incendios en caso de un incendio en el túnel.

En el Reino Unido, siguiendo la clasificación TOPS que utilizan, este tren se denomina clase 373 y en las etapas de planificación del proyecto se denominaba como **Trans Manche Super Train**. Los trenes fueron construidos por GEC-Alsthom en La Rochelle (Francia), Belfort (Francia) y Washwood Heath (Inglaterra), entrando en funcionamiento en el año 1993.

Fueron construidos dos tipos:

- La configuración *Tres capitales*, consistente 2 cabezas tractoras y 18 remolques incluyendo dos de estos con uno de los bogies tractoras.
- La configuración *Norte de Londres*, consistente en 2 cabezas tractoras y 14 remolques, de nuevo, con dos de estos remolques con bogies de tracción.

Todas las configuraciones de ambos tipos consisten en dos mitades idénticas no articuladas en el remolque central, de este modo, en caso de una emergencia en el Eurotúnel una de las mitades podría desacoplarse y de este modo salir del túnel. Cada mitad está numerada de un modo distinto.

Hay 38 composiciones completas, más una cabina de repuesto, de estas unidades: 16 fueron pedidas por SNCF, 4 por NMBS/SNCB y las 18 restantes por British Rail, de éstas 7 composiciones consisten en la configuración *Norte de Londres*. En la privatización de los ferrocarriles británicos por parte del Gobierno del Reino Unido, las composiciones de la BR fueron compradas por London & Continental Railways que es subsidiaria de Eurostar (U.K.) Ltd. que está controlada por National Express Group (40%), SNCF (35%), SNCB (15%) y British Airways (10%).

La composición *Tres Capitaes* opera a una velocidad máxima de 300 km/h, con una potencia nominal de 12.240 kW. Tiene una longitud de 394 m con capacidad para 766 plazas sentadas y el peso es de 752 ton. La composición *Norte de Londres* tiene una capacidad de 558 plazas sentadas. Todos los trenes son al menos tri-tensión y son capaces de operar a 25 kV 50 Hz CA (LAVs, incluido el enlace con el Eurotúnel), 3 kV CC (*líneas clásicas* de Bélgica) y 750 V CC (en la red de la región sur británica que dispone del tercer carril, usado para alimentar los trenes). El sistema del tercer carril será innecesario a partir de 2007 cuando se complete la 2.ª fase del enlace con el Eurotúnel desde Londres. Cinco de los modelos *Tres Capitaes* que posee la SNCF son cuatri-tensión añadiendo la capacidad para soportar los 1,5 kV CC de las líneas convencionales de Francia.

Tres de las *Tres Capitaes* que posee SNCF son para uso Francés e incluso llevan los colores plata y azul de los servicios TGV. Las composiciones *Norte de Londres* no han sido utilizadas nunca para uso internacional, pero estaban previstas para dar un servicio directo desde el continente europeo a las ciudades del norte de Londres, usando los corredores de la costa este y el de la costa oeste, pero estos servicios nunca llegaron a fructificar por las tarifas económicas ofrecidas por las aerolíneas del Reino Unido.

Unas pocas de estas composiciones fueron cedidas a la GNER para usar su servicio *White Rose* entre Londres y Leeds, dos de estas llevan los colores azul oscuro de GNER pero la cesión terminó en diciembre de 2005.

El actual presidente de Eurostar, Richard Brown, ha sugerido que los trenes podrían ser reemplazados por trenes de dos pisos similares a los del TGV Duplex cuando se vayan retirando. Una flota de Eurostars de dos pisos podría llevar a 40 millones de pasajeros al año entre el Reino Unido y el continente europeo, lo cual, sería equivalente a añadir una pista extra en uno de los aeropuertos de Londres.

4.1.2.14. TGV DUPLEX



Figura: [27]; TGV Duplex. Fuente: [Wikimedia]

El TGV Duplex (TGV-D) fue construido para aumentar la capacidad de los TGV sin aumentar la longitud del tren ni el número de trenes. Cada remolque tiene dos pisos, con un único acceso a través de las puertas de la parte baja que se aprovechan de la baja altura de los andenes franceses. Una escalera permite el acceso al piso de arriba, donde están localizadas las pasarelas entre remolques. Esta distribución permite una capacidad de 512 asientos a cada composición (135 plazas más que los TGV-R). En las líneas más ocupadas, como la París-Marsella, salen composiciones de dos trenes con lo que se logra una capacidad de 1.024 plazas. Cada composición tiene un compartimento para el acceso con personas con movilidad reducida.

Tras una largo desarrollo que comenzó en 1988 (en el que se conocían como TGV-2NG), se construyeron en dos tandas, 30 entre 1995-1998 y 34 más entre 2000-2004. Su peso es de 386 tm, miden 200 m, cada tren se compone de 2 cabezas tractoras más 8 remolques de dos pisos. La gran cantidad de aluminio y carbono utilizada supone que la masa de éstos no es mucho mayor que de los TGV Réseau. Son también modelos bi-tensión y poseen una potencia nominal total de 8.800 kW y se les ha incrementado la velocidad máxima hasta los 320 km/h.

4.1.2.15. THALYS PBKA



Figura: [28]; Un Thalys PBKA en Colonia. Fuente: [Wikimedia];

A diferencia del Thalys PBA (París Bruselas Ámsterdam), el Thalys PBKA (*París Bruselas Colonia Ámsterdam*) se usa exclusivamente para los servicios Thalys. Son tecnológicamente similares a los TGV Duplex, pero en vez de soportar dos tensiones diferentes, son cuadrifásicos, pudiendo operar bajo 25 kV 50 Hz CA (línea de alta velocidad), 15 kV 16,7 Hz CA (Alemania, Suiza), 3 kV CC (Bélgica) y 1500 V CC (Líneas convencionales de Francia y Países Bajos).

Su velocidad máxima es de 300 km/h bajo la catenaria de 25 kV, pero la potencia nominal desciende hasta 4.460 kW con una pobre relación de potencia/peso en las NBS alemanas. Tienen 2 cabezas tractoras y 8 remolques con lo que su longitud totaliza en 200 m, siendo su masa total de 385 tm y su capacidad es de 377 plazas sentadas.

De los 17 trenes fabricados, 9 son de SNCB, 7 de SNCF y dos de NS. La Deutsche Bahn contribuyó financiando dos de las composiciones de SNCB.

4.1.2.16. TGV POS

Los trenes TGV POS, destinados para París-Ostfrankreich-Süddeutschland (París-Este de Francia y Sur de Alemania) están en la fase de pruebas para ser usados en la LGV Est, actualmente están en construcción.

Los 19 trenes consisten en dos coches motores y 8 remolques del tipo TGV Réseau reconstruidos, la potencia nominal de estos trenes es de 9.600 kW y la velocidad máxima de 320 km/h. A diferencia de los TGV-A, TGV-R y TGV-D, sus motores son asíncronos-trifásicos, por lo que en caso de fallo, se puede aislar un motor individualmente en el bogie de tracción. Su peso es de 383 tm.

4.1.2.17. TGV DASYE

El **TGV Dasye** es una evolución de la serie TGV Duplex.

Son trenes de doble piso con una velocidad máxima en servicio comercial de 320 km/h. Están pensados para cubrir servicios internacionales, ya que admiten sistemas de seguridad y electrificación que se utilizan fuera de Francia. *Dasye* proviene de «*Duplex ASynchrone*». Son clasificadas como serie 700 de la SNCF.

El **TGV 2N2**, también denominado **Euroduplex**, es una nueva versión de tren de alta velocidad de la serie TGV. Sucede al TGV Dasye.

Tipo de equipamiento	Velocidad máxima	Plazas sentadas	Longitud	Ancho	Peso(en vacío)	Potencia (a 25 kV)	Nº de ejes motores
TGV Sud-Est	270 km/h (168 mph) Rehabilitados a 300 km/h (186 mph)	345	200,2 m (657 pies)	2,81 m (9.2 ft)	385 toneladas	6.450 kW	12
TGV	300 km/h	485	237,5 m	2,90 m	444 tm	8.880 kW	8

Atlantique	(186 mph)		(780 ft)	(9.5 f t)		W	
TGV Réseau	320 km/h (199 mph)	377	200 m (656 ft)	2,90 m (9.5 f t)	383 tm	8.880 k W	8
Eurostar Three Capitals	300 km/h (186 mph)	794	393,7 m (1,293 ft)	2,81 m (9.2 f t)	752 tm	12.240 kW	12
Eurostar North of London	300 km/h (186 mph)	596	318,9 m (1,033 ft)	2,81 m (9.2 f t)	665 tm	12.240 kW	12
TGV Duplex	320 km/h (199 mph)	512	200 m (656 ft)	2,90 m (9.5 f t)	380 ttm	8.880 k W	8
Thalys PBKA	320 km/h (199 mph)	377	200 m (656 ft)	2,90 m (9.5 f t)	385 tm	8.880 k W	8
TGV POS	320 km/h (199 mph)	361	200 m (656 ft)	2,90 m (9.5 f t)	383 tm	9.280 k W	8

4.1.3. ITALIA



Figura: [29]; Eurostar ETR 500 Italia. Fuente: [Wikimedia]

Eurostar Italia era el nombre del servicio de más alta categoría de la operadora estatal de trenes de pasajeros Trenitalia, entre 1997 y diciembre de 2012. Fue sustituida en enero de 2013 por las categorías "Frecciarossa" para los itinerarios de alta velocidad, "Frecciargento" para los itinerarios radiales con centro en Roma y "Freccia Bianca" para trayectos de larga distancia por la red ferroviaria convencional.

No debe confundirse con el servicio de trenes de alta velocidad "Eurostar", que une la ciudad de Londres con las ciudades de París y Bruselas a través del Eurotúnel.

Las formaciones Eurostar Italia unen las principales ciudades italianas utilizando trenes veloces como los ETR 450, 460, 480 y 500.

Si bien algunos de estos trenes están en condiciones de alcanzar los 300 km/h, su velocidad de servicio depende directamente de las características de la línea por la cual circulan.

Actualmente en Italia, ninguno de estos trenes opera a velocidades superiores a los 250 km/h, excepto la nueva versión de los ETR 500 (versión AV) que circulan por las nuevas líneas Roma-Nápoles, Nápoles-Salerno, Roma-Floencia, Bolonia-Floencia, Milán-Bolonia y Milán-Turín.

Los ETR 450/460/480, (donde ET corresponde a "Elettrotreno" (Electrotrén) y R a "Rápido") son formaciones con "centro de gravedad" variable que permite que el tren "pendular" para contrarrestar la fuerza centrífuga en curvas. Por este mecanismo nace el nombre de "Pendolino" usado para estos trenes.

4.1.3.1. ETR 500

El **ETR 500** es el primer tren de alta velocidad con centro de gravedad no pendulante construido en Italia. El proyecto nace en la década de 1980 y “ve la luz” en la década de 1990 con la producción en serie y su utilización por parte de Trenitalia.

El ETR 500 no tiene “centro de gravedad” variable y por esta razón no es apto para todas líneas. Puede desarrollar todas sus prestaciones solo en las líneas de alta velocidad.

Los electrotrenes ETR con “centro de gravedad” variable desarrollan en líneas “tradicionales” velocidades superiores hasta en un 30% al resto de las composiciones. Resultan muy apropiados para territorios como los italianos, donde las líneas discurren por terrenos muy poco llanos.

Los ETR 500 están disponibles en versión “politensión” para poder funcionar con corriente alterna de 25000 V a 50 Hz y con corriente continua a 3000 V.

Actualmente en Italia hay en servicio 57 formaciones ETR 500 capaces de superar los 300 km/h. Son utilizados en los servicios que comercialmente se denominan Frecciarossa.

Un ETR 500 posee el actual record italiano de velocidad ferroviario con 362 km/h logrado con el tren ETR 500-Y1 "Frecciarossa" durante las pruebas de la nueva línea Bologna-Florencia el 3 de febrero de 2009.

Gracias a las nuevas líneas de alta velocidad en construcción (Milán-Venecia) y ya operativas (Turín-Milán, Milán-Bolonia, Bolonia-Florencia y Roma-Nápoles) los trenes ETR 500 podrán desarrollar toda su capacidad.

Actualmente el ETR 500 está siendo evolucionado en el ETR 1000, que alcanzará en una velocidad comercial de 400 km/h (cubriendo la ruta Roma-Milano en 2 horas y 20 minutos).



Figura: [30]; ETR 500 Frecciarossa En Milan. Fuente: [Wikimedia]

4.1.3.2. ETR 480



Figura: [31]; ETR 480.33 en Milán. Fuente: [Wikimedia]

El **ETR 480** es un tipo de tren italiano de alta velocidad. Su principal característica es que "bascula" para compensar la fuerza centrífuga en las curvas. Es un Pendolino de tercera generación, es el sucesor del ETR 450 y una variante del ETR 460.

Exteriormente es idéntico al ETR 460, excepto por un portón de carga de mercancías en el remolque restaurante, por la interconexión entre remolques y por la posibilidad de transformar sus equipos eléctricos en bitensión para circular por las nuevas líneas de alta velocidad de 25 kV.

A partir de 2005 comenzaron las transformaciones de los ETR 480 en ETR 485 modificando los equipos eléctricos y incorporando nuevos pantógrafos sobre los remolques para las líneas de 25 kV.

Características técnicas:

- Asientos totales: 480
- Asientos 1.ª clase: 139
- Asientos 2.ª clase: 342
- Puestos para discapacitados: 2
- Velocidad máxima: 250 km/h
- Peso: 440 t
- Potencia total: 5880 kW
- Alimentación: 25 kv ca, 3 kv cc y 1.5 kv cc.

4.1.3.3. ETR 460

El **ETR 460** es un tren italiano de alta velocidad producido por Fiat Ferroviaria (actualmente Alstom) y en servicio comercial desde mediados de 1993 en la red ferroviaria italiana. Su característica principal es la capacidad de bascular en las curvas para compensar la fuerza centrífuga y poder tomarlas a mayor velocidad (Los ETR 460 tiene la capacidad de pendular hasta un ángulo máximo de 8° para reducir efecto de la fuerza centrífuga al tomar las curvas. La pendulación hidráulica es gobernada por dos giróscopos ubicados en los coches extremos).

El ETR 460 es un desarrollo de los pendolinos ETR 450, se caracteriza por la mejora en los sistemas eléctricos y electrónicos y una mayor comodidad para los pasajeros. La velocidad máxima es de 250 km/h (igual que los ETR 450). Los 460 están provistos con 12 motores trifásicos asincrónicos (Los ETR 450 tienen 16) distribuidos en todos los coches con el objeto de mejorar la capacidad de tomar las curvas. Los frenos eléctricos son del tipo reostáticos con la posibilidad recuperar energía a ciertas velocidades y los frenos mecánicos usan *discos de frenos* comandados por un sistema electro-neumático.

Los trenes fueron diseñados por Giorgetto Giugiaro y son utilizados por Trenitalia en numerosas rutas de larga distancia.

El ETR 460 dio lugar a dos variantes, el ETR 470 y el ETR 480. La principal diferencia es que la tensión eléctrica a la cual puede circular cada uno de ellos: el ETR 460 sólo a 3 kV de corriente continua, el ETR 470 a 3 kV de corriente continua y a 15 kV de corriente alterna y el ETR 480 a 3 kV de corriente continua y a 25 kV corriente alterna (para ser usados en las nuevas línea de alta velocidad en Italia).

Tres trenes fueron modificados para ser capaces de circular también el 1,5 kV en corriente continua para ser usados en servicios de Turín-Lyon, pero posteriormente se anuló esta modificación en los sistemas eléctricos.

Está previsto convertir todos los ETR 460 con las especificaciones técnicas de los ETR 480, compartiendo ambas clases la nueva denominación ETR 485.

4.1.3.4. LÍNEAS



Figura: [32]; Tramo rectilíneo de la LAV Roma-Nápoles cerca de Anagni. Fuente: [Wikimedia]

Actualmente Italia tiene una de las redes más extensas de Europa, con más de 1.320 km de líneas de trenes de alta velocidad. En lo que se refiere a la construcción en Italia de las líneas veloces, RFI S.p.A. eligió la misma tensión eléctrica que la utilizada en Francia (25 kV CA, 50 Hz) en las partes no urbanas. Pero a diferencia de las líneas francesas se construyen de manera más robusta para soportar los trenes de mercancías, de ahí su denominación de Alta Velocidad-Alta Capacidad. A finales de 2009 se concluyó la línea Turín-Milán-Bolonia-Florenia-Roma-Nápoles-Salerno. El primer tramo, que se inauguró en 1976, fue Roma-Florenia.

Las líneas que existen en este momento en Italia son:

- Roma-Florenia 253.6 Km (la Direttissima, primera línea de alta velocidad en Europa, con tramos inaugurados entre 1977 y 1992)
- Roma-Nápoles 205 km (inaugurada el 19 de diciembre de 2005)
- Turín-Novara (inaugurada el 10 de junio de 2006)
- Padua-Venecia 24 km (inaugurada el 2 de julio de 2007)
- Milán-Treviglio 24 km (inaugurada en 2007)
- Milán-Bolonia 182 km (inaugurada el 13 de diciembre de 2008)
- Florenia-Bolonia 78,5 km (inaugurada el 16 de diciembre de 2009)
- Milán-Novara (inaugurada el 16 de diciembre de 2009)

Las líneas en construcción en este momento en Italia son:

- Treviglio-Brescia
- Línea transalpina Lyon-Chambéry-Turín entre Francia y Italia.

Las líneas en proyecto son:

- Brescia-Verona
- Verona-Padua
- Milán-Génova
- Nápoles-Bari
- Venecia-Trieste
- Salerno-Regio de Calabria (en fase de estudio inicial)



Figura: [33]; Esquema de las líneas AV-AC y AC en Italia. Fuente: [Wikimedia]

4.1.4. ALEMANIA

InterCityExpress, normalmente abreviado como **ICE**, designa al sistema de trenes de alta velocidad de los ferrocarriles de Alemania que circulan por dicho país y por países vecinos.

El InterCityExpress es el tren más rápido y cómodo de la Deutsche Bahn AG y es considerado como el «buque insignia» de la empresa y sucesor del InterCity (IC). El IC sirvió aproximadamente a unas 180 estaciones que en gran medida usa actualmente el ICE en Alemania y seis países vecinos (Austria, Suiza, Francia, Bélgica, Países Bajos y Dinamarca). El nombre de marca «ICE» es una de las marcas más conocidas de Alemania, con un conocimiento de la marca cercana al 100%, según el DB.

El nombre «ICE» también es usado para nombrar a los trenes que se utilizan en el sistema alemán de alta velocidad. El tren alemán InterCityExperimental (ICE V) logró en 1988 alcanzar 406,9 km/h (253 mph).

En la actualidad hay 259 trenes en cinco versiones diferentes de los vehículos ICE en circulación, llamados ICE 1 (lanzados en 1991), ICE 2 (1996), ICE-T (1999), el ICE 3 (1999) y el ICE-TD (2001-2003, nuevamente en servicio desde 2007). El ICE 3, incluyendo su variante de los modelos, se fabrica tanto por Bombardier como Siemens.



Figura: [34]; ICE en Museo Permon Berlin. Fuente: [Wikimedia]

4.1.4.1. ICE 3**Clase DB / NS 403/406/407**

ICE 3 en la línea de tren de alta velocidad Colonia-Frankfurt

En servicio	2000 - presente
Fabricante	Siemens
Apellido	Velaro
Número construido	50 trenes (ICE 3) 17 trenes (3M ICE / F) 17 trenes en orden (ICE Velaro D)
Formación	8 turismos por halftrain, opcional doble tracción dando 16 turismos
Capacidad	441 (ICE 3) 430 (ICE 3M) 460 (Velaro D)
Operador	Deutsche Bahn Nederlandse Spoorwegen

Especificaciones	
Construcción de la carrocería de coche	Aluminio
Longitud del coche	25.835 m (84 ft 9.1 in) (coche Cab) 24.775 m (81 ft 3.4 in) (coche Intermedio)
Ancho	2,95 m (9 pies 8 pulg) (ICE 3 / ICE 3M / Velaro D, Euro Spec) 3.265 m (10 ft 8.5 in) (CRH3 , opción Internacional)
Altura	3,89 m (12 pies 9 pulg)
Velocidad máxima	320 kmh (199 mph) (servicio) 330 kmh (205 mph) (diseño)
Peso	409 t (403 toneladas largas ; 451 toneladas cortas) (ICE 3) 435 t (428 toneladas largas; 480 toneladas cortas) (ICE 3M)
Potencia de salida	8.000 kW (11.000 CV)
Esfuerzo de tracción	300 kN (67.000 lbf) Arranque 270 kN (61.000 lbf) Cont. en 106 km / h (66 mph)
Fuente de alimentación	(?)
Sistema eléctrico (s)	15 kV, 16,7 Hz AC 1,5 kV DC (ICE 3M) 3 kV DC (ICE 3M / Velaro D)

	25 kV 50 Hz AC (3M ICE / F / Velaro D) de línea aérea
Método de recolección actual	Pantógrafo
Clasificación UIC	Bo'Bo '+ 2'2' + Bo'Bo '+ 2'2' + 2'2' + 2'2' 'Bo'Bo +' (8 set de vagones) 'Bo'Bo +'
Sistema (s) de seguridad	Sifa, PZB 90, LZB (ICE 3) Sifa, PZB90, LZB80, Cocodrilo ,TVM430 , KVB, ATB , Eurobaliza(3M ICE)
Ancho de vía	1435 mm (4 pies 8 ¹ / ₂ pulgadas) de ancho internacional

4.1.4.2. CLASE 403



Figura: [35]; Vista interior. Fuente: [Wikipedia]

El objetivo del diseño del ICE 3 (Clase 403) era crear un tren de mayor potencia, más ligero que sus predecesores. Esto se logró mediante la distribución de sus 16 motores de tracción por debajo de todo el tren. El tren tiene licencia para 330 kmh (210 mph) y ha llegado a 368 kmh (228,66 mph) en las tandas de ensayos. Por regulares Intercity-Express servicios que corren a velocidades de hasta 300 km / h (190 mph), la velocidad máxima de líneas de alta velocidad alemanes.

Debido a que el tren no tiene cabezas de poder, toda la longitud del tren está disponible para los asientos de pasajeros, incluyendo el primer coche. Los –asientos salón se encuentran directamente detrás del conductor, separados sólo por una pared de cristal.

Los 50 juegos fueron ordenados en 1997 y diseñado específicamente para la nueva línea de alta velocidad entre Frankfurt y Colonia. Fueron construidos por un consorcio liderado por Siemens y Adtranz (ahora Bombardier Transportation).

4.1.4.3. CLASE 406



Figura: [36]; NS ICE 3 (Clase 406) Línea Colonia-Frankfurt. Fuente: [Wikimedia]

El **3M ICE** (Clase 406; M para multisistémica) fue desarrollado para operar servicios internacionales bajo los cuatro diferentes sistemas de electrificación ferroviaria en uso en líneas principales de Europa y con el apoyo de diversos sistemas de protección del tren. La Deutsche Bahn (DB) ordenó a 13 de estas unidades en 1994, el NS (Nederlandse Spoorwegen) cuatro, asegurándose de que las demandas de la red ferroviaria holandesa son atendidos.

Aunque estos trenes llevan logotipos NS, DB y NS trenes juntos forman un grupo y por lo tanto, los trenes NS pueden operar los servicios de base de datos también. En 2007 el tren fue autorizado para operar en los Países Bajos, Bélgica y Francia. Actualmente, los trenes se utilizan para tramos transfronterizos entre Holanda, Alemania, Bélgica y Francia. Por francesa LGV Est , algunos trenes alcanzan una velocidad máxima normal de 320 km / h (199 mph).

Las 17 clases 406 sets fueron construidas por el mismo consorcio en la clase 403. Se introdujeron primero de noviembre de 2000 sobre los servicios entre Colonia y Amsterdam. Desde diciembre de 2002, también han estado operando tres viajes diarios en cada sentido entre Frankfurt y Bruselas (aumento de cuatro por día desde diciembre de 2010).

En Bélgica, el tren fue autorizado en 2002 para ejecutarse en las clásicas líneas d 3 kV DC con velocidades de hasta 160 km / h (99 mph) y, a partir de diciembre de 2004, también en las nuevas líneas de alta velocidad de 25 kV de corriente alterna, pero inicialmente limitada a 250 km / h (155 mph) en lugar de 300 kmh (186 mph). Problemas con la grava y la fricción del freno de corrientes parásitas lineal ocurrieron durante la prueba. Con el fin de limitar la creación de tornados-como los vórtices que recogen grava y para limitar los daños de salpicaduras de grava al tren, se han añadido spoilers bajo el bastidor principal junto a los bogies y bajo los ejes de tracción de los bogies.

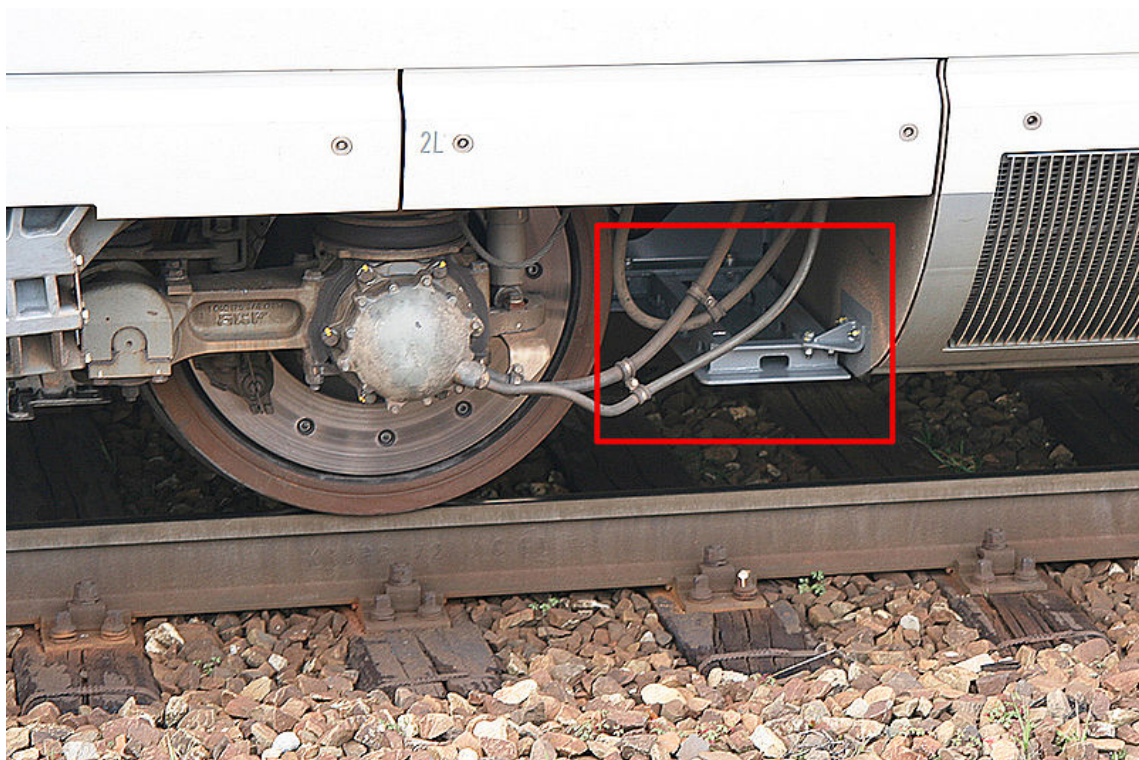


Figura: [37] Alerón adicional (marcado en rojo) para limitar la creación de vórtices que recogen grava y para proteger el bogie y el bastidor inferior. Fuente: [fierasdelaingeniería.com]

4.1.4.4. CLASE 407 SIEMENS VELARO D



Figura: [38]; ICE 3 407. Fuente: [Raillynews.com]

El **Velaro D** es un tren de alta velocidad de cuarta generación desarrollado por los ingenieros de Siemens, basado en la Plataforma Velaro. Los trenes, actualmente en producción en la fábrica Krefeld-Uerdingen que posee la compañía en Alemania, están diseñados para cubrir las necesidades de los operadores ferroviarios europeos, siendo especialmente utilizados por Deutsche Bahn (DB) bajo la designación **Serie 407 ICE 3**.

La Autoridad Federal de Ferrocarriles (EBA) concedió la aprobación oficial para las operaciones de los trenes Velaro D en Alemania en diciembre de 2013. Como resultado, los primeros 17 trenes serán entregados a Deutsche Bahn, compañía que inicialmente encargó 15 trenes bajo un contrato por valor de 500 millones de euros en diciembre de 2008, añadiendo otros dos más al pedido en mayo de 2011.

A finales de diciembre de 2013 Siemens ya había entregado los cuatro primeros trenes Velaro D que actualmente operan en la línea Colonia-Frankfurt-Stuttgart. Asimismo, se espera entregar otros cuatro trenes más a finales de este mes de marzo, siendo el resto de la flota destinada para las pruebas iniciales con la principal empresa ferroviaria alemana para operaciones transfronterizas en Bélgica y Francia. Los planes de Deutsche Bahn pasan por operar los trenes de Londres a Frankfurt vía Bruselas y Colonia, así como a Amsterdam a través de Rotterdam.

El tren de la serie 407 ICE 3 mide 200 m de longitud, con un peso total de hasta 454 toneladas y una potencia de tracción de 8.000 kW. Cada coche dispone de 25 m de largo con un cuerpo fabricado de aluminio para reducir el peso, teniendo el tren una tasa de reciclado del 98%. Asimismo, los trenes de ocho coches incorporan tecnologías avanzadas en el perfil aerodinámico, gestión de energía y reducción de ruido, siendo capaces de operar a una velocidad de 320 km/h en la red ferroviaria de Deutsche Bahn.

El frontal y la sección longitudinal del techo de los trenes están diseñados para proporcionar una buena aerodinámica, además de seguridad y comodidad para los conductores de trenes. **El diseño aerodinámico del frontal evita el efecto conocido como “boom del túnel”**, un impacto sonoro producido por las presiones de aire desiguales cuando el tren entra en un túnel a gran velocidad.

Los motores de tracción se distribuyen en la zona inferior del tren en toda su longitud, ofreciendo un 20% más de espacio en comparación con los trenes ICE 1 y ICE 2 en el que las locomotoras se localizaban en los extremos delantero y trasero de cada tren. Los Velaro D disponen de un sistema de frenado eléctrico sostenible que permite reutilizar la energía generada por el mismo en el sistema de suministro, haciendo posible reducir el consumo de energía en un 10%. Además, la alta eficiencia de combustible de los trenes ayuda a reducir las emisiones de CO₂ equivalente a 14 gramos por pasajero/kilómetro.



Figura: [39]; Hangar de montaje. Fuente: [rp-online.de]

El Velaro D, con sus ocho coches, es mucho más amplio que sus versiones anteriores, los trenes ICE 3 de la Serie 403 y la Serie 406. En total, el Velaro D tiene capacidad para 444 pasajeros, incluyendo 111 en primera clase y el resto en segunda clase, pudiendo acoplarse a otro tren ICE 3 para formar una doble unidad incrementando la capacidad de asientos hasta los 888 pasajeros.

Los trenes de alta velocidad operados por DB son los primeros de su tipo en ser equipados con elevador hidráulico para sillas de ruedas en cada lado del tren. Además, el ancho de las entradas y los pasillos proporcionan mayor facilidad de movimiento para pasajeros con movilidad reducida. Asimismo, los trenes incorporan una serie de características amigables para los pasajeros con discapacidad visual, indicando en Braille el número del coche y los números de los asientos. Por otra parte, se incluyen pantallas de vídeo montadas en el techo para informar a los pasajeros del progreso de la ruta del tren en tiempo real a través de un sistema GPS.



Figura: [40]; Interior Velaro D. Fuente: [rp-online.de]

Siemens encargó a los ingenieros de ABB el suministro del transformador de tracción de 5.220 kV para los nuevos trenes de alta velocidad, que han sido exclusivamente desarrollados para este modelo con prestaciones sostenibles de alto rendimiento, bajo peso y reducido tamaño. Además, los ingenieros de HUBER+SUHNER crearon el nuevo concepto de conexión inter-vehicular para los trenes, siendo Knorr-Bremse los responsables de diseñar los sistemas de frenado y SBF Spezialleuchten de la iluminación interior, la cual incluye la implementación de la tecnología fluorescente T5 & LEDs.

Los cables y los sistemas de cableados para los trenes están siendo suministrados por Leoni, mientras que Weidmüller proveyó el sistema WFF-185 para conectar los cables medium 110V y 4kV dentro de los trenes. El equipamiento del Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario (ERTMS) de nivel 2 está siendo suministrado por Ansaldo STS, en virtud de un contrato de 17 millones de euros, mientras que los sensores de aceleración para los trenes han sido proporcionados por ASC.



Figura: [41]; Interior Velaro D. Fuente: [rail.co.uk]

4.1.4.5. RED ICE

La red ICE se inauguró oficialmente el 29 de mayo de 1991, con varios vehículos convergentes en diferentes direcciones en la recién construida Estación Kassel-Wilhelmshöhe en Kassel, Alemania.

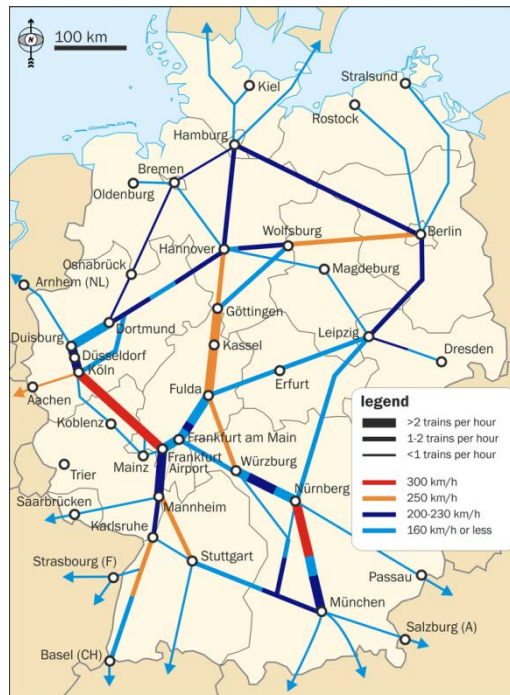


Figura: [42]; Mapa de la red mostrando las capacidades y velocidades máximas del sistema.
Fuente: [detrenes.com]

4.1.5. REINO UNIDO

Ahora, Gran Bretaña se equipará al resto del continente, ya que se incorporará una línea férrea de alta velocidad, tal como el AVE español, o el TGV francés o el Thalys que conecta Francia, Bélgica y Alemania. Será el primero en cubrir rutas internas dentro de este país, más allá del Eurostar.

Las unidades rodarán a unos 322 km/h, manejadas por la empresa Network Rail y es una noticia recibida muy bien por viajeros británicos y extranjeros.

Los tiempos que se alcanzarán por tramo son:

- Birmingham en 45 minutos (actualmente lleva 1 hora y media)
- Leeds en 1 hora y 30 minutos (actual 2 horas y 3 minutos)
- Liverpool en 1 hora y 23 minutos (ahora 2 horas y 8 minutos)
- Manchester en 1 hora y 6 minutos (2 horas 7 minutos actuales)
- Edimburgo en 2 horas y 9 minutos (4 horas y 23 minutos hoy)
- Glasgow en 2 horas y 16 minutos (actualmente 4 horas y 10 minutos)

El proyecto demandará unos 40.000 millones de euros y estaría operativo para 2030.

4.1.5.1. EUROSTAR



Figura: [43]; Tren Eurostar, estación St Pancras International de Londres. Fuente: [Wikimedia]

Eurostar es el nombre comercial de los servicios ferroviarios de alta velocidad prestados por **Eurostar Group** y que comunican la ciudad de Londres (Reino Unido) con París (Francia) y Bruselas (Bélgica) a través del Eurotúnel (túnel del Canal de la Mancha). Los trenes circulan a una velocidad de 300 km/h, excepto en el túnel por debajo del Canal de la Mancha, donde lo hacen a 140 km/h.

El Eurostar comenzó a operar en 1994 uniendo el continente europeo con Londres a través del famoso Eurotúnel con trenes derivados directamente de los TGV. El servicio Eurostar usa la Línea de Alta Velocidad Norte (LN3) en Francia. En el Reino Unido los trenes circularon inicialmente por la vía convencional que une Folkestone con Londres a velocidades muy inferiores a sus posibilidades, y utilizando el tercer carril a 750 V como medio de alimentación.

Ante esta realidad el gobierno británico encargó la construcción de una nueva línea de alta velocidad que uniera la salida del Eurotúnel con la ciudad de Londres. La primera fase de esta nueva Línea de Alta Velocidad se inauguró en 2003 reduciendo el tiempo de viaje entre París y Londres en 2.35 h (servicios sin paradas intermedias). La segunda fase del proyecto es el acceso a la ciudad de Londres (casi totalmente subterráneo) y se encuentra operativo desde 2007. Ahora se tardan 2h para unir Londres con Bruselas y 2.15h para unir Londres con la capital gala.

El 28 de noviembre de 2003 el TGV transportó a su pasajero 1.000.000.000, número de viajeros sólo superado por el Shinkansen japonés que alcanzó los 5 mil millones de pasajeros en el 2000. Se espera que se alcancen los dos mil millones en 2010.

4.2. ASIA.

4.2.1. COREA.



Figura: [44]; Tren de la KTX en la estación de Daejeon. Fuente: [Wikimedia]

En Corea disponen de un tren derivado del TGV francés llamado KTX. Los primeros 281 km de la línea -de los 412 previstos- han sido abiertos a primeros de abril del 2004, entre Seúl y Daegu. El KTX alcanzará velocidades de 300 km/h en esta primera sección.

Los 131 km posteriores, que enlazarán con Busan, se abrirán en el 2008. Hasta la fecha, el KTX funcionará entre estas dos ciudades por la línea convencional existente, ya que ha sido recientemente electrificada. Doce de estos trenes fueron construidos en Francia por Alstom y los otros 34 restantes deben ser construidos en Corea del Sur por la firma Hyundai-Rotem, según los términos de un acuerdo de transferencia de tecnología.

También está proyectada la línea de alta velocidad para la sección de Osong a Gwangju y Mokpo, y se espera que esté lista en 2017. Se está considerando una extensión de Seúl hasta Gangneung, en la costa nordeste, decisión que depende de la candidatura coreana para la organización de los Juegos Olímpicos de invierno de 2018.

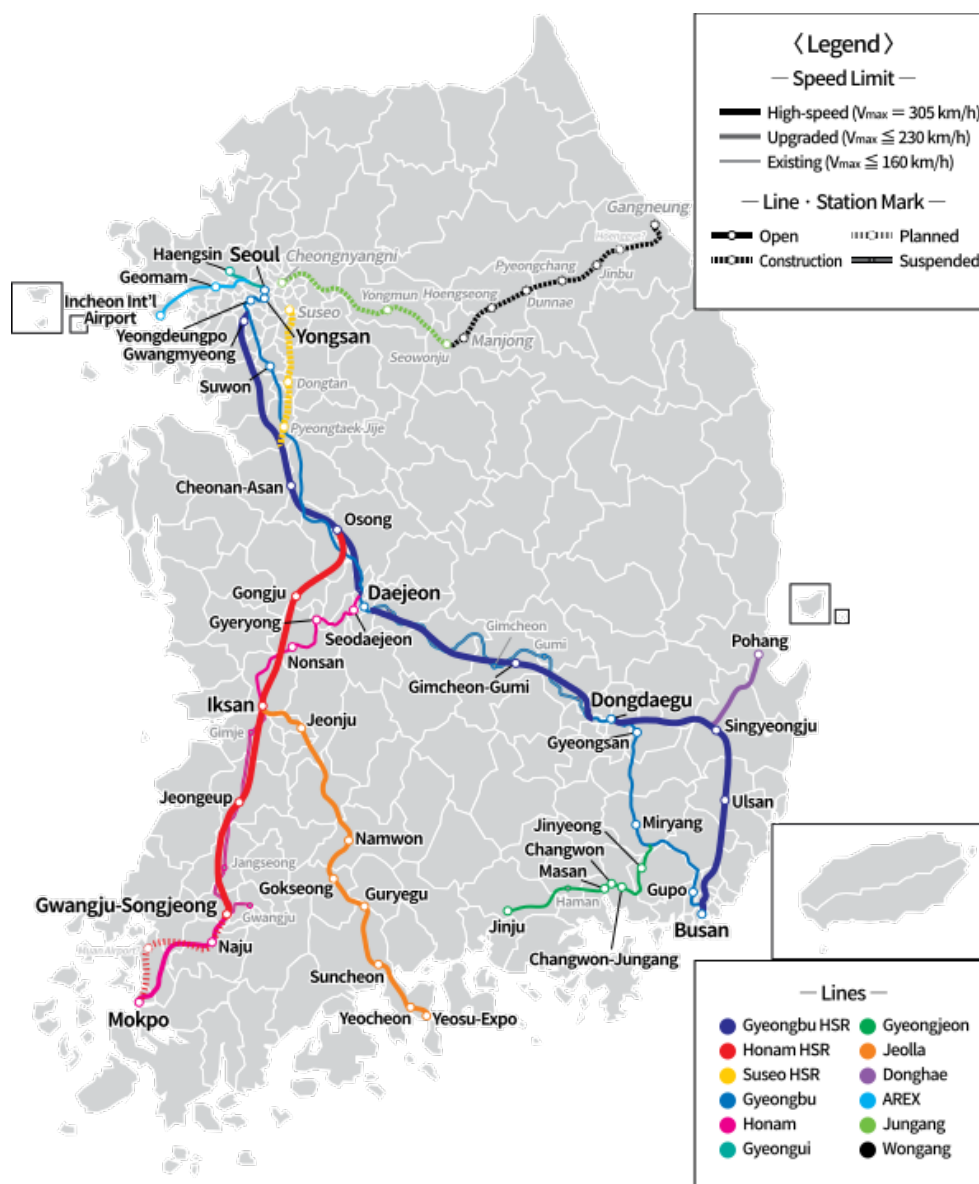


Figura: [45]; KTX Líneas en 2 de abril 2015. Fuente: [Wikimedia]

4.2.2. JAPÓN.

4.2.2.1. SERIES SHINKANSEN.



Figura: [46]; Primer N700-7000, en línea Sanyō, abril de 2009. Fuente: [Wikimedia]

Los trenes Shinkansen tienen formaciones de hasta 16 coches. Como cada coche puede medir hasta 25 m de largo, los trenes más largos llegan a los 405 m de longitud total, que es el largo máximo para el que se han diseñado los andenes; esta medida es similar a la utilizada en los trenes rápidos europeos. Sin embargo, el gálibo utilizado en las vías de alta velocidad permite trenes de hasta 3,38 m de ancho, que es mayor que el utilizado en Europa, lo que permite el uso de configuraciones de asientos de mayor capacidad (por ejemplo, 2+2 en primera clase y hasta 3+3 en clase turista).

Los trenes Mini-Shinkansen están diseñados para circular por las líneas de alta velocidad, y luego continuar por vías antiguas de ancho 1.067 mm cuyo ancho de vía ha sido modificado para permitir la continuidad del servicio. Sin embargo, estas líneas no han visto modificado su gálibo, y por ello estos trenes son más estrechos en su construcción (2,945 m). Al detenerse en las estaciones de líneas nuevas (diseñadas para trenes más anchos), deben utilizar unas plataformas retráctiles que facilitan el acceso hasta el andén.

4.2.2.1.1. SHINKANSEN SERIE 500.

Figura: [46]; Shinkansen 500. Fuente: [Japonismo.com]

Esta serie se diseñó para hacer los servicios Nozomi (los de menos paradas y por lo tanto más rápidos) en las líneas Tōkaidō y San'yō, es decir, entre Tokio y Hakata pasando por Osaka, y se estrenó comercialmente en marzo de 1997.

la serie 500 es el único tren bala cuyo diseño general fue coordinado por un diseñador industrial europeo, Alexander Neumeister, en colaboración con JR West y con varias empresas fabricantes. Sólo así se explica su unicidad. Y unicidad no sólo por tener un diseño diferente, sino también por las pocas unidades que se produjeron, y es que si de la serie N700 hablábamos hace poco que JR Central había recibido el set número 80, en el caso de la serie 500, sólo se fabricaron 9 unidades. Os dejo un vídeo en el que el propio Alexander Neumeister habla sobre la serie 500.

JR West anunció que estaba inmersa en el proyecto de la serie 500 en septiembre de 1994, que utilizaría muchas de las lecciones aprendidas con el prototipo WIN350. JR Central no tuvo nada que ver en este proyecto y de hecho, ésta es una de las principales diferencias con otras series que circulan por las líneas Tōkaidō y San'yō.

Las 9 composiciones se entregaron en 1998, y se diseñaron para poder alcanzar velocidades de 320 km/h, aunque su velocidad máxima de explotación es de 300 km/h. Además, se incluyeron novedosas tecnologías como suspensiones activas controladas por ordenador o amortiguadores anti-balanceo entre los coches para asegurar el mayor comfort de marcha posible. Además, los coches de la serie 500 tenían forma de gusano para disminuir así la sección transversal y ser más eficientes aerodinámicamente. Inicialmente, cada composición tenía 16 coches, como suele ser normal en los trenes de las líneas Tōkaidō y San'yō, aunque en el caso de la serie 500, absolutamente todos los coches eran motores, no había ni un solo tráiler.

Por suerte, todavía es posible ver la serie 500 en servicio, aunque no está muy claro cuánto durará. Y es que, en 2007, a medida que JR Central y JR West fueron recibiendo unidades de forma constante de la serie N700, la necesidad de utilizar la serie 500 en los servicios Nozomi fue decreciendo, siendo retiradas estas unidades del servicio de forma paulatina. De hecho, en marzo de 2008 ya sólo quedaban dos circulaciones diarias entre Tokio y Hakata que utilizarasen la serie 500. Y casi dos años después, el 28 de febrero de 2010, tuvo lugar la última circulación de un tren de la serie 500 con 16 coches haciendo un servicio Nozomi, pero por suerte, no sería la despedida de esta serie. Y es que a medida que se iban retirando composiciones del servicio Nozomi, JR West las iba modificando y acortando a 8 coches. La intención era que la serie 500 sustituyera a la vetusta serie 0 en los servicios Kodama (los que paran en todas las estaciones), pero ya circunscrito en exclusiva a la línea San'yō, entre Osaka y Hakata. De esta manera, se le seguía sacando rendimiento económico a esta carísima serie de shinkansen, y además se renovaba la flota de los servicios más básicos.



Figura: [47]; Shinkansen 500. Fuente: [Japonismo.com]

El primer tren de la serie 500 reformado para su uso en servicios Kodama se mostró a la prensa en marzo de 2008, con algunos cambios respecto a la serie 500 original, como la disminución de la velocidad máxima a 285 km/h, la inclusión de zonas de fumadores (ya que todo el tren se hizo no fumador), el cambio de los modernos pantógrafos en forma de T por otros más convencionales (que van en los coches 2 y 7), y la eliminación de la Green Class o clase Preferente, aunque se ha mantenido uno de los coches que formaban parte de la Green Class, con su misma configuración de asientos de 2+2, pero ahora es clase estándar reservada, simplemente. La puesta de largo de las nuevas composiciones de 8 coches de la serie 500 tuvo lugar en diciembre de 2008.

Shinkansen Nozomi 500



Serie

Tipo	Automotor Eléctrico de Alta Velocidad
Fabricante	Hitachi / Kawasaki / Kinki Sharyo / Nippon Sharyo

Año de fabricación	1995
Unidades fabricadas	9
Configuración	
Composición	8 coches
Longitud	204 m
Anchura	3380 mm.
Altura	3690 mm
Características técnicas	
Ancho de vía	1435 mm
Electrificación	25 kVAC 60 Hz
Velocidad máxima	320 km/h
Potencia	18.240 kW
Motores	IGBTs VVVF
Número de plazas	608
Sistemas de seguridad	ATC-1, ATC-NS

4.2.2.1.2. SHINKANSEN E6.

El **Shinkansen E6** es un modelo de la red ferroviaria de alta velocidad Shinkansen perteneciente a la JR East Company que opera en los servicios Tohoku Shinkansen y Akita Shinkansen desde marzo de 2013.

La primera unidad de la serie E6 que se pudo ver fue el prototipo S12 de pre-producción, que fue entregado en junio de 2010 y que JR East utilizó para hacer pruebas en la línea Tohoku y Akita, para asegurarse que todo funcionaría a la perfección para cuando las unidades de producción entrasen en servicio. El resto unidades entrarán en servicio entre 2012 y 2014.

El Shinkansen E6, junto con el E5, son los trenes resultantes derivados de los experimentales Fastech 360 S y Z. Ambos fueron diseñados por Pininfarina a través de la supervisión de Ken Okuyama.

La serie E6 también cuenta con algunas innovaciones tecnológicas como un sistema de suspensión activa para mejorar el comfort del viaje, además de un sistema de pendulación de hasta 1,5 grados. Testero aerodinámico de 13 metros de longitud, 2 menos que la serie E5, que reduce el ruido a la entrada de túneles y las vibraciones en el tren. Bogies totalmente cubiertos que ayudan a reducir el ruido de rodadura con materiales fonoabsorbentes y cubiertas que existen entre coches, de forma que el lateral del tren presenta una superficie aerodinámicamente lisa al avance.

Shinkansen SuperKomachi E6



Serie

Tipo	Automotor Eléctrico de Alta Velocidad
Fabricante	Hitachi / Kawasaki
Año de fabricación	2010-2014
Unidades fabricadas	20
Configuración	
Composición	7 coches
Longitud	148,65 m
Anchura	2945 mm
Altura	3650 mm
Características técnicas	
Ancho de vía	1435 mm
Electrificación	25 kV 50Hz
Velocidad máxima	320km/h
Motores	IGBTs VVVF AC
Número de plazas	338
Sistemas de seguridad	DS-ATC, RS-ATC, ATS-P

4.2.2.1.3. SHINKANSEN N700.

Uno de los trenes de alta velocidad o shinkansen más modernos actualmente en servicio en Japón es la serie N700, que no es sino una evolución y mejora de la exitosa serie 700. Y esta serie N700 es, actualmente, el pilar en el que se sustentan los servicios de las líneas Tokaido y Sanyo de shinkansen. No es que la serie 700 no fuera buena, sino al contrario, fue tan buena que las mejoras que JR Central y JR West fueron pensando las incorporaron a un nuevo tipo de tren. De hecho, fijandonos en su diseño exterior, la serie N700 es claramente heredera de la serie 700, cosa que se comprueba fácilmente viendo un tren al lado del otro.

El primer set completo de la serie N700 entró en servicio el 1 de julio de 2007 para hacer servicios Nozomi, los más rápidos y de menos paradas en las líneas Tokaido y Sanyo, que hacen el trayecto entre Tokio y Osaka en 2 horas y 25 minutos y el Tokio-Hakata en 5 horas.



Figura: [48]; Uno de los primeros N700, visto en 2007 en la estación de Okayama. Fuente: [japonismo.com]

Estos trenes inicialmente sustituyeron a trenes de la serie 300 (ya retirada), a trenes de la serie 500 (actualmente haciendo servicios Kodama sólo en la línea Sanyo) e incluso a algunos trenes de las serie 700. Su despliegue fue tan rápido que en 2009, sólo 2 años después de su estreno oficial, todos los servicios directos entre Tokio y Hakata ya se hacían únicamente con trenes de esta serie. De hecho, en la actualidad todos los servicios Nozomi en las líneas Tokaido y Sanyo se operan con N700 y ya hay incluso servicios Kodama en la línea Tokaido que utilizan estos trenes. Está claro que no tardando mucho toda la flota de JR Central estará compuesta únicamente por la serie N700.



Figura: [49]; Frontal N700. Fuente: [japonismo.com]

La serie gustó tanto, que cuando JR Kyushu completó el tramo que faltaba de su línea de shinkansen, conectando con un tren de alta velocidad Hakata, al norte de la isla, con Kagoshima, al sur, introdujeron dos nuevos servicios, Sakura y Mizuho, operados con una variante de esta serie, aunque con una librea ligeramente diferente. Características de la serie N700 La serie N700 se diseñó con varios objetivos en mente. En primer lugar, el de ofrecer a los pasajeros un entorno lo más agradable y relajante a bordo. Esto se logró mediante la instalación de una suspensión semi-activa en todos los coches para evitar vibraciones laterales y la adopción de cubiertas entre coches, para reducir el ruido en el interior de los mismos. Además, se aumentó la anchura de los asientos para dar más espacio a cada pasajero.



Figura: [50]; Detalle de la cubierta entre coches en un N700. Fuente: [japonismo.com]

El siguiente objetivo, teniendo en cuenta la cantidad de hombres de negocio que utilizan la línea Tokaido para ir de Tokio a Osaka y viceversa cada día, era ofrecer un entorno de trabajo ideal para este perfil de pasajero. De esta forma, se aumentaron el número de enchufes en los coches, de forma que cada asiento en los coches de clase preferente (Green car) tienen enchufe y en clase estándar, los asientos situados en ventana llevan todos enchufe. Por otra parte, se aumentó el tamaño de las mesas plegables, pensando sobre todo en que los hombres de negocios pudieran colocar sin problemas sus ordenadores portátiles (estas mesas aguantan hasta 10 kg. de peso). Y como en Japón está prohibido hablar por teléfono dentro del coche, se mejoró el aislamiento acústico en los vestíbulos para que fueran silenciosos y se pudiera hablar por teléfono sin problemas.



Figura: [50]; Detalle de la cubierta entre coches en un N700. Fuente: [japonismo.com]

El tercer objetivo era el de mejorar los servicios a bordo para los pasajeros. Un ejemplo fue el de hacer los paneles de información encima de las puertas más grandes que en otros trenes, que pueden mostrar más cantidad de información, además en varios colores, para mejorar la legibilidad. Los baños se han mejorado muchísimo también, con baños adaptados para sillas de ruedas y mucho más grandes que en anteriores modelos de shinkansen. Los espacios para maletas encima de los asientos también se mejoraron, permitiendo ahora la colocación de equipajes más grandes. Además, hay cámaras de seguridad en los vestíbulos para aumentar la seguridad.



Figura: [51]; Detalle de los servicios en un N700. Fuente: [japonismo.com]

Cuando hablamos de uno de los éxitos del tren bala japonés, la capacidad es uno de sus pilares. Y es que en la línea Tokaido, los trenes de la serie N700 están compuestos por 16 coches que dan cabida a 1.323 pasajeros, de los que 1.123 viajan en clase estándar y 200 en Green car (clase preferente). Como suele ocurrir en Japón, la clase estándar tiene una configuración de 5 asientos por fila (3+2), mientras que el Green car lleva una configuración de 2+2, ya que su gálibo es mayor que en trenes europeos de alta velocidad, aunque el ancho de vía utilizado sea el mismo. En los asientos, los N700 llevan una pegatina en las bandejas que muestra la información de lo que hay en el coche en el que estás situado y en los adyacentes: baños, zona de fumadores, etc.



Figura: [52]; Clase estándar de asientos 3+2 en un N700. Fuente: [japonismo.com]

Para los que les gustan los detalles técnicos, una composición de 16 coches de la serie N700 lleva 14 coches motores y 2 trailers, cuando la anterior serie 700 llevaba sólo 12 coches motores. La aceleración de un N700 es mucho mejor que la de su predecesor, ya que es de 2,6 km/h/s, frente a los 1,6 km/h/s de la serie 700, gracias a una potencia total de 17.080 kW, comparada con los 13.200 kW de potencia de la serie 700. Y su velocidad máxima operativa es de 300 km/h, cuando la serie 700 alcanzaba los 285 km/h, aunque sobre esto hay que hacer alguna puntualización.

Y es que ocurre que depende de en qué línea circule el N700, tiene una velocidad máxima u otra. En la línea Tokaido, la primera que se inauguró, el 1 de octubre de 1964, la velocidad máxima es de 270 km/h, es decir, exactamente igual que la de la serie 700 e incluso que la de la serie 300, ya retirada. En la línea Sanyo, sin embargo, si que se alcanzan los 300 km/h.



Figura: [53]; Detalle de la cubierta sobre las ruedas para absorber ruido en un shinkansen N700. Fuente: [japonismo.com]

¿Por qué ocurre esto? Se juntan varios factores. En primer lugar, la línea discurre por áreas tan densamente pobladas que el ruido, mayor según aumenta la velocidad, se convierte en un problema fundamental. Por otro lado, el trazado de la línea Tokaido es muy sinuoso, por lo que desde 1992 en que se aumentó la velocidad máxima a 270 km/h no ha habido ningún incremento de la misma, aunque se haya ido introduciendo trenes más modernos. Eso sí, JR Central aumentará la velocidad máxima a 285 km/h a partir de la primavera de 2015, aunque como os conté, el objetivo principal es poder reducir el retraso medio en la línea, no tanto disminuir el tiempo de trayecto. Y sólo los N700A podrán beneficiarse de este incremento.



Figura: [54]; Llegada N700 a Nagoya. Fuente: [japonismo.com]

Finalmente, las curvas de esta línea se diseñaron con un radio de 2.500 metros, en lugar de los 4.000 metros de radio que es el estándar en la actualidad (y que permite velocidades más altas en el paso por curva). Esto hace que la serie 700, por ejemplo, tenga que bajar su velocidad a 255 km/h en las curvas de la línea Tokaido. Sin embargo, gracias a la incorporación de un sistema basculante en el N700, el primer shinkansen en incluirlo, esta serie puede mantener los 270 km/h en el paso por curva gracias a que se inclina 1 grado para evitar parte del efecto de la fuerza centrífuga.

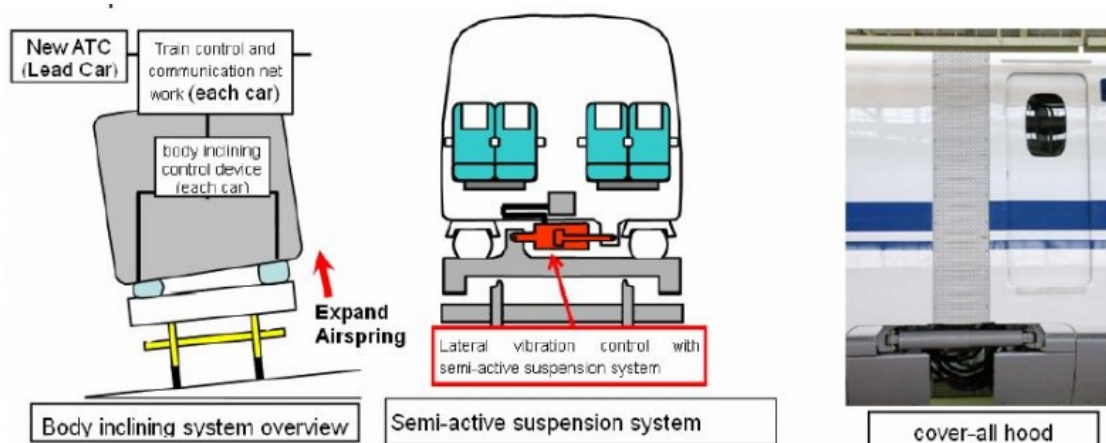


Figura: [55]; Sistema de suspensión del N700. Fuente: [japonismo.com]

Características de la serie N700. Imagen de la nota de prensa de lanzamiento emitida por JR Central. Estas mejoras hicieron que, por primera vez desde 1992, la serie N700 redujera el tiempo de trayecto entre Tokio y Osaka, de las 2 horas y 30 minutos a 2 horas y 25 minutos. Como se puede observar, no es una gran ganancia. Por otro lado, la serie N700 es un ejemplo perfecto de cómo la tecnología no se emplea únicamente en hacer trenes más rápidos y es que ya se ha comentado que el ruido es uno de los caballos de batalla a los que se enfrenta la alta velocidad en Japón, por la cercanía de zonas residenciales a las vías. Así, se han cubierto en parte las ruedas con materiales que absorben ruido, se han cubierto los espacios entre coches, los pantógrafos que recogen la electricidad de la catenaria llevan paneles laterales para absorber el ruido, y el morro se ha estilizado más que en la anterior serie 700.



Figura: [56]; Detalle del pantógrafo apantallado para absorber ruido en un shinkansen N700.

Fuente: [japonismo.com]

La serie N700 es, quizás, una de las series de tren bala que más variaciones ha tenido hasta la fecha y es que no todos los trenes en servicio de esta serie son exactamente iguales ni pertenecen a la misma compañía ferroviaria: JR Central, JR West y JR Kyushu tienen trenes de la serie N700.

JR Central solicitó originalmente 81 composiciones de la serie N700. La primera era el prototipo de la serie, la composición Z0, recibida en 2005 y que actualmente se sigue utilizando para pruebas y no está en servicio comercial. En una de estas pruebas, en 2009, el tren llegó a los 332 km/h sin problemas, aunque esté homologado comercialmente para un máximo de 300 km/h.

4.2.2.2. LINEAS.

Todo empezó a mediados de los años 1950, cuando pensaron en construir una nueva línea ferroviaria entre Tokio y Osaka, las dos principales ciudades del país, para resolver el problema de la saturación de la línea existente con una mejora sustancial de los tiempos de recorrido. Mitsubishi, Kawasaki, Hitachi y Sumitomo se asociaron para que los trenes de alta velocidad japoneses unieran desde 1964 las principales ciudades niponas, dejando que el paisaje se desdibuje a 300 km/h.

Las líneas de alta velocidad que existen en este momento en Japón son:

1. **La línea Tokaido.** Une Tokio con Osaka. Existe desde 1964. El tren Kodama circula a 250 km/h, el tren Hikari a 270 km/h y el Nozomi a 300 km/h.
2. **La línea Sanyo.** Une Osaka y Hakata. Existe desde 1975. El tren Kodama circula a 250 km/h y el HikariRailstar a 300 km/h.
3. **La línea Tohoku.** Une Tokio y Hachinoe. Existe desde 1982. El tren circula a 275 km/h.
4. **La línea Joetsu.** Une Tokio y Niigata. Existe desde 1982. El tren circula a 270 km/h.
5. **La línea Nagano.** Une Tokio y Nagano con trenes llamados Asama.
6. **La línea Yamagata.** Une Tokio y Shinjo con trenes llamados Tsubasa.
7. **La línea Akita.** Une Tokio y Akita con trenes llamados Komachi.
8. **La línea Kyushu,** que corre en la isla del mismo nombre, une Yatsushiro con Kagoshima con trenes llamados Tsubame.
9. **La línea Narita Express.** Une a las ciudades de Takao y Ofuna con el Aeropuerto Internacional de Narita.



Figura: [57]; Red Shinkansen. Fuente: [Viajar.tarrazona.net]

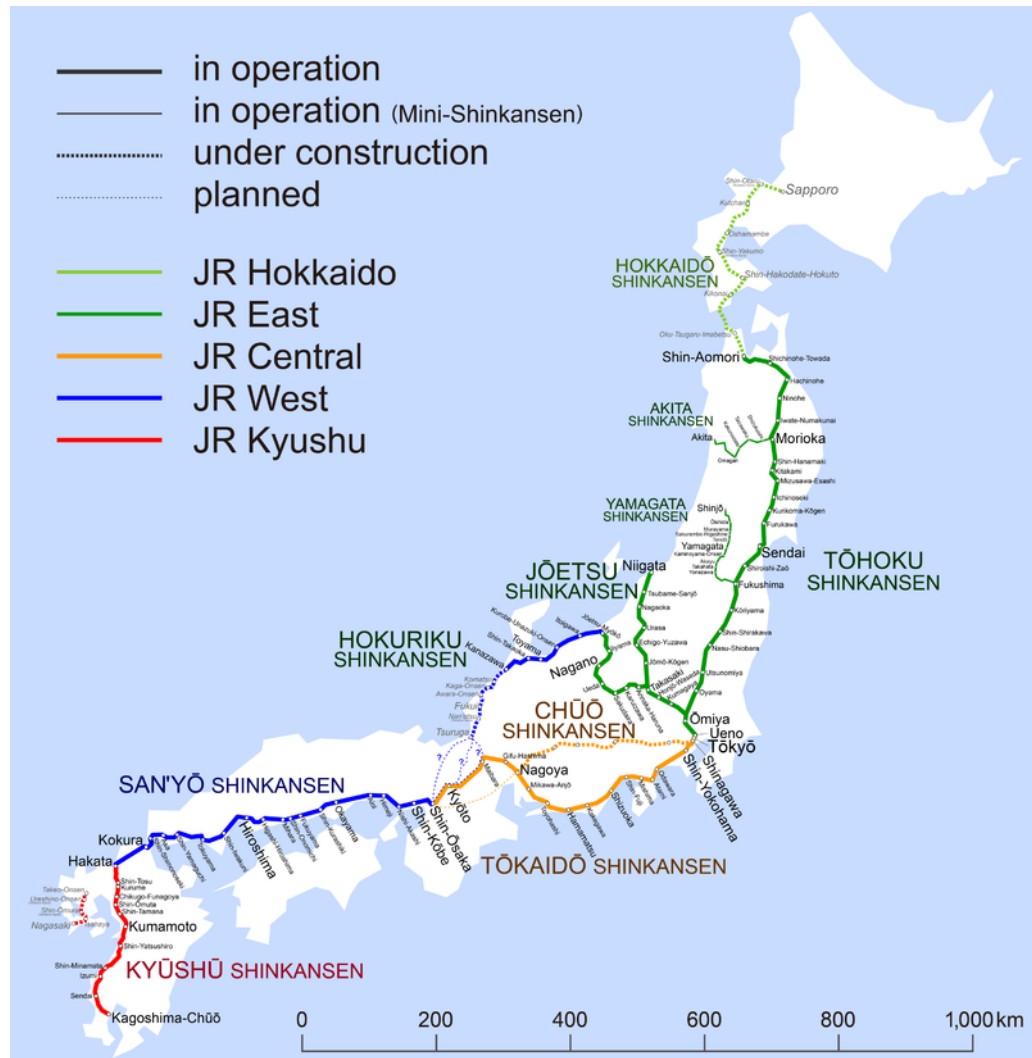


Figura: [58]; Red Shinkansen. Fuente: [Wikimedia]

Líneas en **verde**: Concesión de la JR East
 Líneas en **naranja**: Concesión de la JR Tōkai
 Líneas en **azul**: Concesión de la JR West
 Líneas en **rojo**: Concesión de la JR Kyūshū
 Líneas en **amarillos verdes**: Concesión de la JR Hokkaidō

4.2.3. CHINA

China está realizando importantes inversiones en trenes de levitación magnética de alta velocidad. Conocido como **Maglev Transrapid**, el primer tren chino de alta velocidad hace su recorrido desde el aeropuerto de Pudong a Shanghái a una velocidad punta de **430 km/h** en un recorrido de 30 km empleando 8 minutos. Está operativo desde el 24 de marzo de 2004.

Además dispone de 7.000 km de alta velocidad, queriendo llegar a los 13.000 en los próximos dos años y a 16.000 en 2020, aunque el proyecto llega a unos 120.000 km de vías para comunicar 25 países de Europa y Asia en 2025. De esos 7.000 km que alcanzan velocidades superiores a 200 km/h, en más de 2.000 se llega a los 350. La línea estrella será la que una en un solo trayecto de 1.318 km las ciudades de Pekín y Shanghái. El coste total de la red es de unos cinco billones de yuanes (541.825 millones de euros), y el Gobierno Chino pretende que gran parte de esa inversión se revierta a empresas de la propia China que empiezan a desarrollar esa tecnología, y de esa manera después exportar esa tecnología a otros países y estados como Polonia, Rusia o California. Muchas de las máquinas usadas pueden alcanzar velocidades de 420 km/h aunque en su uso no superen los 350.

El 26 de diciembre de 2012, China inauguró una nueva línea de tren de alta velocidad, el cual discurrirá desde la capital Pekín a Cantón, un importante centro económico ubicado al sur del país. La longitud de la línea es de 2 298 km (1 428 mi), es la línea de tren de alta velocidad más larga del mundo. La velocidad de la vía es de 300 km/h (186 Mph) y reducirá el tiempo de traslado mayor de 20 horas, a sólo 8 horas.

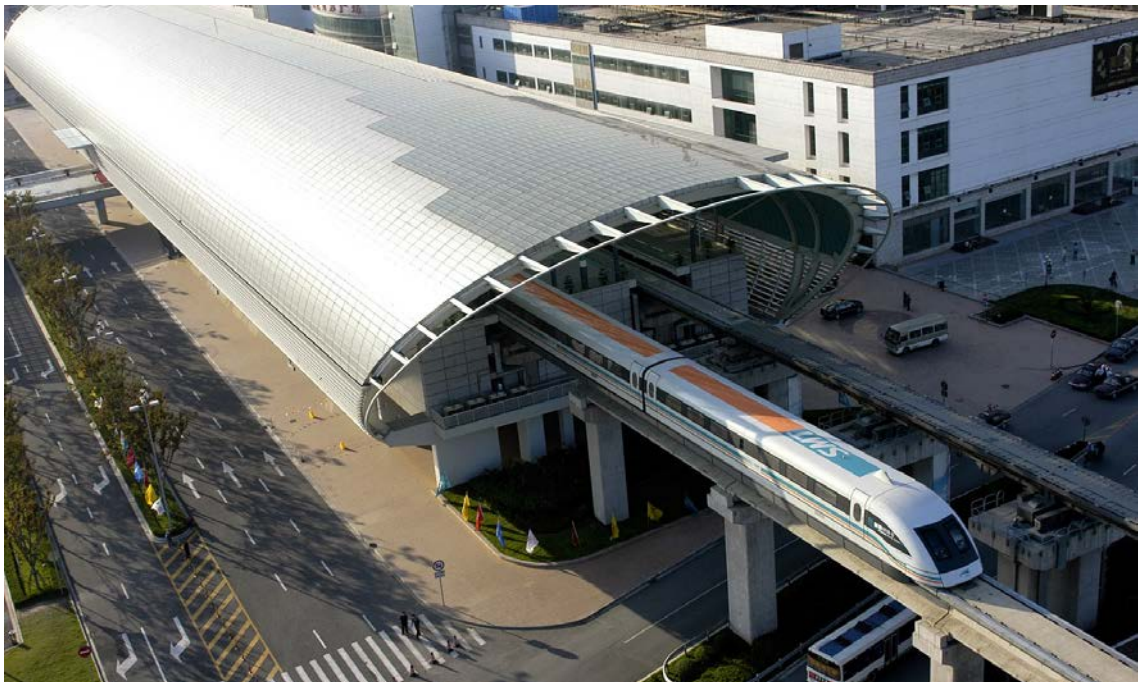


Figura: [59]; Maglev Shanghai. Fuente: [nosoloingenieria.com];

El transporte de **levitación magnética**, o tipo maglev, es un sistema de transporte que incluye la suspensión, guía y propulsión de vehículos, principalmente trenes, utilizando un gran número de imanes para la sustentación y la propulsión a base de la levitación magnética

Este método tiene la ventaja de ser más rápido, silencioso y suave que los sistemas de transporte colectivo sobre ruedas convencionales. La tecnología de levitación magnética tiene el potencial de superar 6.440 km/h (4.000 mph) si se realiza en un túnel al vacío. Cuando no se utiliza un túnel al vacío, la energía necesaria para la levitación no suele representar una gran parte de la necesaria, ya que la mayoría de la energía necesaria se emplea para superar la resistencia del aire, al igual que con cualquier otro tren de alta velocidad.

La mayor velocidad obtenida hasta ahora fue de 603 km/h en la ruta Yamanashi el 21 de abril de 2015. Unos días antes llegó a alcanzar los 590 km/h, el 16 de abril de 2015, en la misma ruta, siendo 15 km/h más rápido que el récord de velocidad del TGV convencional.

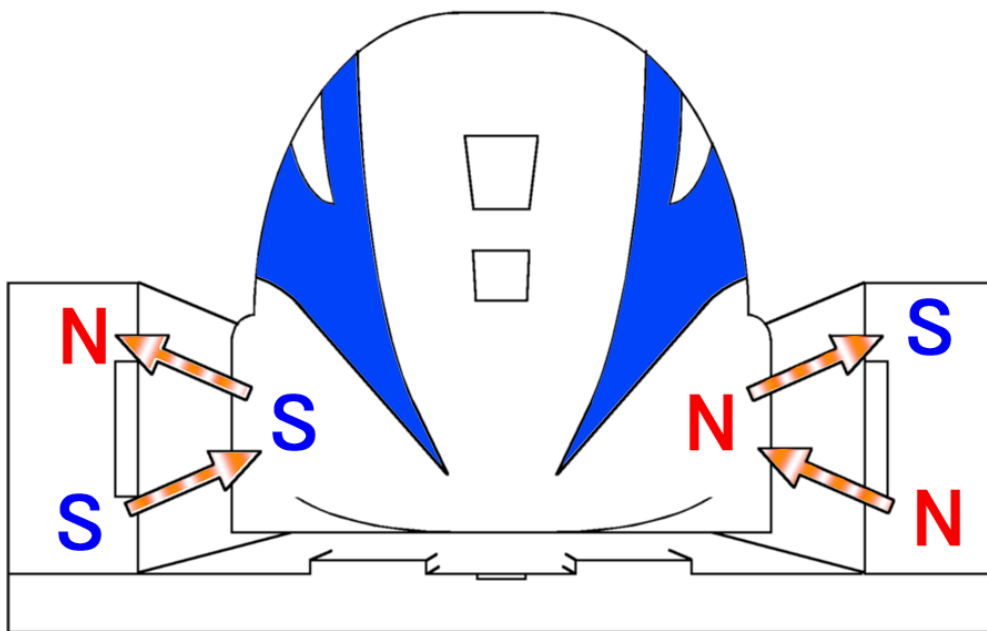


Figura: [60]; Esquema fuentes de fuerzas magnéticas de suspensión. Fuente: [Wikimedia];

La ausencia de contacto físico entre el riel y el tren hace que la única fricción sea con el aire, y esta se reduce al mínimo por su forma aerodinámica. Los trenes maglev pueden viajar a muy altas velocidades, con un consumo de energía elevado para mantener y controlar la polaridad de los imanes y con un bajo nivel de ruido (una ventaja sobre el sistema competidor llamado aerotrán), pudiéndose llegar a alcanzar 650 km/h, aunque el máximo probado en este tren es de 603 km/h. Estas altas velocidades hacen que los maglev puedan llegar a convertirse en competidores directos del transporte aéreo.

Como inconveniente destaca el alto costo de las líneas, lo que ha limitado su uso comercial. Este alto costo se deriva de varios factores importantes: el primero y principal es el altísimo costo de la infraestructura necesaria para la vía y el sistema eléctrico, y otro no menos relevante es el alto consumo energético. Debido a que en la fuerza electromagnética el principal factor limitante en cuanto al diseño y al consumo es el peso del tren, esta tecnología no es aplicable actualmente al transporte de mercancías, lo cual limita enormemente las posibilidades de este sistema.

Otros recorridos están en estudio, principalmente en China y Japón. En Alemania se ha desechado de momento la construcción de líneas maglev para pasajeros a causa de su oneroso costo de construcción y mantenimiento.

La primera operación comercial del maglev fue del tipo «transporta personas». Abierto oficialmente en 1984 en Birmingham, Inglaterra, operaba en una sección elevada de 600 metros sobre una pista de monorriel, entre el Aeropuerto internacional de Birmingham y la Estación Internacional de Ferrocarril de Birmingham. Viajaba a una velocidad de 42 km/h, hasta que el sistema fue cerrado temporalmente en 1995 para corregir problemas de diseño.

La máxima velocidad demostrada de un maglev real en operación comercial es la obtenida por el tren alemán **Transrapid** instalado en Shangai, China, que transporta pasajeros a lo largo de 30 km en tan solo 7 minutos y 20 segundos, consiguiendo rutinariamente una velocidad punta máxima de 431 km/h y una media de 250 km/h en el trayecto. El trayecto entre Shanghai y el aeropuerto se construyó como un segmento inicial (initial operating segment).



Figura: [61]; Transrapid 05 en la Exposición de Transporte Internacional en Hamburgo, Alemania. Fuente: [Wikimedia]

Existen otras líneas comerciales operativas en Japón, como la línea Linimo construida para ExpoAichi. Algunos proyectos de maglev están siendo estudiados en cuanto a su factibilidad. En Japón, en la pista de pruebas de Yamanashi, la tecnología actual de los maglev está madura, pero los costes y otros problemas crean dificultades para su desarrollo e implementación, por lo que se está intentando desarrollar tecnologías alternativas para resolver estas dificultades.

4.2.3.1. SHANGHAI MAGLEV



Figura: [62]; Maglev. Fuente: [nosoloingenieria.com]

El Shanghai Maglev (Magnetic Levitation), inaugurado el 1 de enero de 2009, es la primera línea comercial de alta velocidad mediante levitación magnética construida en el mundo, que une el Aeropuerto Internacional de Pudong, y la estación de metro de Longyang Road. La distancia entre ambos puntos es de **30 kilómetros**.

Durante unas pruebas realizadas en noviembre de 2006, se establece en esta línea un nuevo record chino de velocidad sobre monorriel, superandose los 500 km/h, record que no es aplicable de todos modos al resto del mundo en términos absolutos puesto que en pruebas no comerciales el también maglev experimental Shinkansen japonés ha alcanzado velocidades próximas a los 600 km/h, y la base tecnológica de las locomotoras AVE españolas,

el TGV francés, en sus evoluciones posteriores a la década de los 80, alcanzó en circuito los 550 km/h sobre rieles convencionales. Sí en cambio podría ser aplicable si las pruebas tuviesen lugar en un servicio comercial, lo cual en este caso no supondría especial inconveniente de seguridad dado que en su circulación comercial diaria se alcanzan los 430 km/h de velocidad crucero.

Operada actualmente por la compañía establecida al efecto, **Shanghai Maglev Transportation Development Co., Ltd.**, con servicios entre las 06:45 y las 21:40 hora local, en frecuencias de 15 o 20 minutos según la franja horaria. El precio de billete básico en enero de 2013 era de 50 Yuanes, algo menos por descuento si se muestra un ticket de vuelo, y el doble en clase VIP. En comparación con otros transportes, el Metro de Shanghai realiza el mismo trayecto en su línea 2 en un tiempo aproximado de viaje de unos 50 minutos a un precio de 6 Yuanes (precios de enero de 2013). Debido a la gran extensión de Shanghai, puede salir algo más barato y más rápido desplazarse directamente en taxi al destino concreto desde el aeropuerto siempre que este no se encuentre en las proximidades del centro o del metro de Lonyang.

El 11 de agosto de 2006 se incendió un compartimento, sin víctimas ni heridos, su causa se estimó en un fallo de los sistemas eléctricos.



Figura: [63]; Maglev. Fuente: [Megaconstrucciones.net]

La **levitación magnética** es un método que consiste en mantener un objeto a flote mediante la acción de un campo magnético. Ha de ser lo suficientemente fuerte como para igualar el peso del cuerpo en cuestión. Este estado de suspensión limita el rozamiento del convoy al aire ambiental, permitiendo a este sistema ferroviario alcanzar velocidades casi imposibles de conseguir en un ferrocarril convencional (hasta 600 km/h en prototipos).

En la actualidad existen 3 tipos de tecnología de levitación magnética:

Suspensión electromagnética (EMS): Permite altas velocidades y genera campos magnéticos poco peligrosos. Tiene un alto coste de producción y explotación.

Suspensión electrodinámica (EDS): Permite altas velocidades y altas cargas de peso. Utiliza superconductores de alta temperatura HTS que deben ser refrigerados con nitrógeno. Los campos magnéticos generados son altamente perceptibles dentro y fuera del tren, lo cual imposibilita su uso a personas con marcapasos. Debe dotarse con ruedas para los trayectos en los que se mueve a poca velocidad. El coste por kilómetro es gigantesco.

Suspensión con imanes permanentes (Inductrack): Se trata de un sistema con menores costes de explotación debido a que no necesita corriente para proveer la levitación. El campo magnético permanente garantiza la suspensión en caso de fallo eléctrico. Los trenes deben dotarse de ruedas para proveer la propulsión.

El primer sistema comercial de trenes Maglev existente en el mundo está desarrollado por la compañía alemana Transrapid International, una joint-venture de los grupos industriales Siemens y Thyssenkrupp.

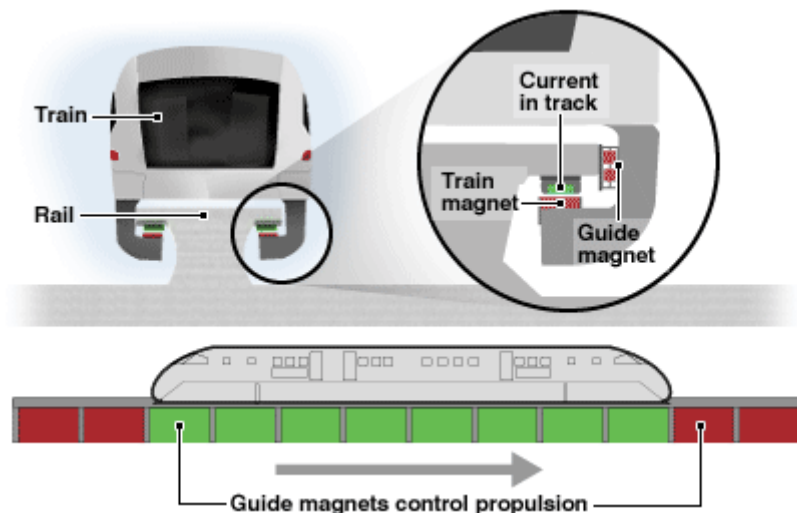


Figura: [64]; Sistema Maglev. Fuente: [physics.oregonstate.edu]

El Shanghai Maglev tarda **7 minutos y medio** en completar el recorrido, en el cual alcanza una punta de **431 km/h** (como curiosidad, se han superado los 500 km/h en período de pruebas). El precio es de 50 yuanes, unos **5 €**. Como comparación, el mismo recorrido se puede hacer en metro, sin embargo se requieren sobre 50 minutos, pagando por ello 6 yuanes, 0'60 €.

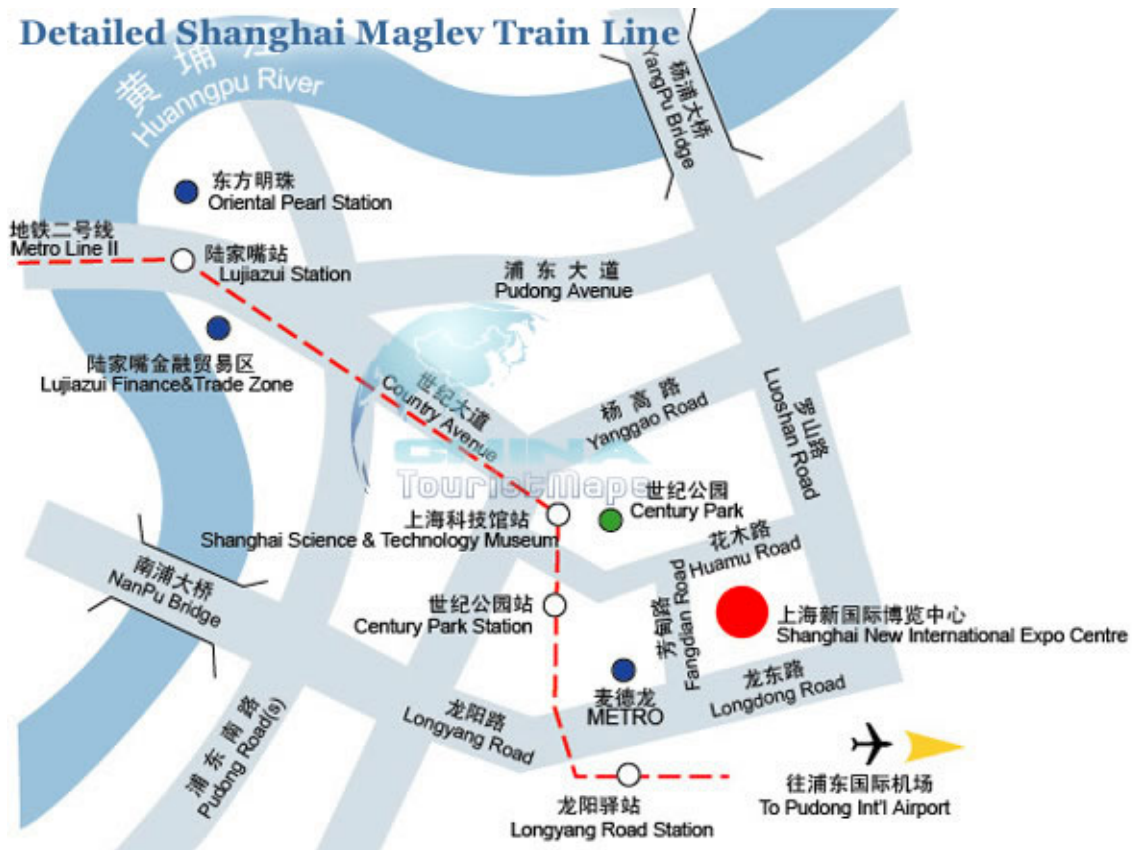


Figura: [64]; Ruta del Shanghai Maglev. Fuente: [megaconstrucciones.net]

5. PRINCIPALES PLATAFORMAS PARA MUY ALTA VELOCIDAD

5.1. TALGO AVRIL

AVRIL es una plataforma de trenes de alta versatilidad y muy alta velocidad de la empresa ferroviaria española Patentes Talgo. Su nombre proviene del acrónimo de «*Alta Velocidad Rueda Independiente Ligero*». Actualmente se encuentra en fase de desarrollo.



Fuente: [65]; Morro AVRIL. Fuente: [Talgo.com];

Sus principales ventajas son la utilización del sistema Talgo (Un **Talgo** es un tipo de tren compuesto principalmente por una rama indeformable de coches cortos, de aluminio y más bajos que los tradicionales, diseñado y construido por la empresa española Patentes Talgo. Su nombre proviene de las siglas de *Tren Articulado Ligero Goicoechea Oriol*, en atención a su diseñador Alejandro Goicoechea, y al financiero que apoyó sus investigaciones y la fabricación de los primeros trenes contruidos con ese sistema, José Luis Oriol Urigüen. Ambos formaron la empresa en 1942. Primero construyeron los prototipos Talgo 0 y Talgo I, sin uso comercial, y posteriormente el Talgo II. Tras el Talgo II Goicoechea dejó de participar en los proyectos de la empresa.) y la disponibilidad de una gran variedad de configuraciones que le permiten operar en mercados muy diferentes.

La plataforma o familia de trenes «AVRIL» estará diseñada para una velocidad comercial de hasta 380 km/h, y persigue una máxima rentabilidad mediante mayor capacidad y menores costes de operación que los trenes de alta velocidad actuales. Dentro de la plataforma podrá haber versiones de ancho fijo o variable, de tracción eléctrica, diesel o dual (híbrida), de caja ancha (asientos 3+2) o normal, incluso podrá haber versiones pendulares, aunque solo con caja normal.

5.1.1. GENERACIONES

- **G3 PRIMERA GENERACIÓN**

Será el primer modelo de la familia AVRIL en ser comercializado. Este tiene características semejantes al T-350, es decir, composición de coches de tecnología Talgo más dos unidades motrices. Se diferencia por un aumento de la velocidad de diseño de hasta 380 km/h, aunque su velocidad comercial máxima que se intentará homologar en 2015 será de 330 km/h, pese a que en principio se anunciaron los 350 km/h. También tendrá cajas más anchas (3200 mm en lugar de 2942) y por consiguiente un notable aumento de la capacidad, mejoras aerodinámicas y mejora de la eficiencia energética, así como la múltiple captación de corriente y la utilización de rodales acordes con el tren. Su estética ha sido diseñada por Pininfarina.

Es el modelo que presentó Talgo en la edición de 2012 de InnoTrans. Su número de serie es el 112.601.

Según los planos de los coches, el G3 actual, con caja ancha y todo turista, tendría: 4 coches con WC x 49, 6 sin WC x 54, 1 coche accesible con WC x 45 + 2 PMR, 1 cafetería x 25; total: 590 plazas + 2 PMR.

Al G3 se le denomina popularmente "Cisne" al tener el testero más estilizado que el Talgo 350.

- **G4 SEGUNDA GENERACIÓN**

La segunda generación de la plataforma AVRIL incluiría más novedades respecto al Talgo 350:

La configuración de ejes del «G4» consiste en la motorización de los tres bogies de los que dispone cada extremo, mientras que las ruedas intermedias son todas rodales tipo Talgo remolcados. Así, aun estando la tracción concentrada en los extremos, se alcanza una motorización del 57% de las ruedas, mayor incluso que el 50% que tienen algunos de los trenes de tracción distribuida. Es lo que se podría formular como "tracción concentrada y viajeros distribuidos". Los equipos estarán situados en el piso de los dos primeros coches y en el techo del tercero.

La masa en vacío de cada unidad no sobrepasará las 315 toneladas, frente a las 322 de la Serie 102 de Renfe. Al mismo tiempo, el espacio interior disponible es mayor que en trenes de otros fabricantes, debido al piso bajo y a la menor longitud de las cajas, que permite que sean más anchas.

Su fabricación está prevista de una forma modular, de tal modo que se puedan fabricar unidades de diferentes configuraciones interiores o de motorización, incluyendo la posibilidad de trenes híbridos con un motor diesel. La versión de **25 kV y 50 Hz** sería capaz de desarrollar una potencia de **12.000 kW**. La distribución y el aprovechamiento de espacio en las cabezas motrices proporcionarían una mayor capacidad de plazas, hasta 600 en configuración normal y 700 en configuración de alta capacidad, permitiendo así reducir el consumo por pasajero.

5.1.2. SISTEMAS EMPLEADOS

Talgo ha desarrollado una serie de medidas incluidas en el AVRIL que permiten rebajar los costes de operación del mismo, además de una comodidad superior para el pasajero:

5.1.2.1. REDUCCIÓN DE PESO

La ligereza de los trenes Talgo, además del mejor resultado energético, logra que los ratios de aceleración y desaceleración disminuyan, es decir, que estos procesos de aceleración y de desaceleración se logren en menos tiempo.

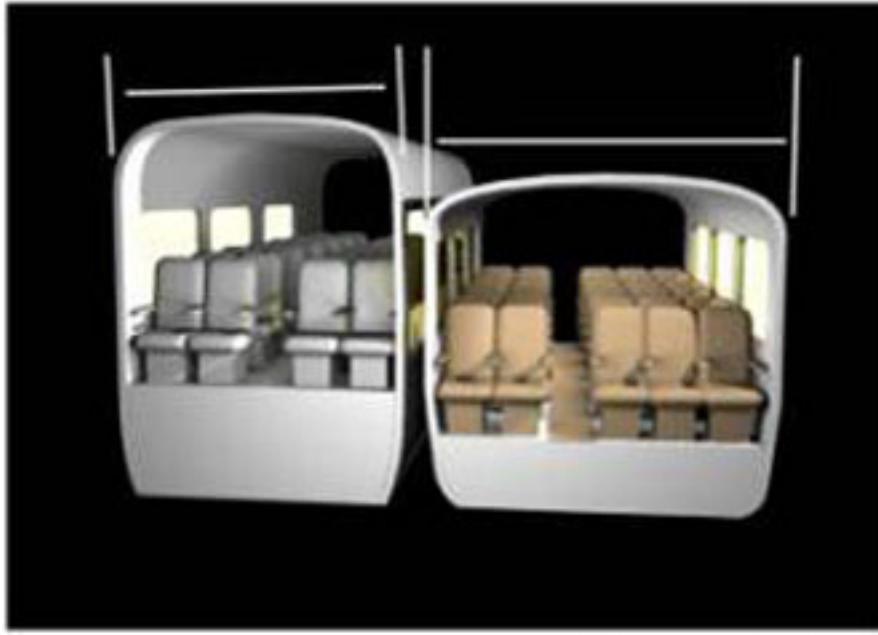
El esfuerzo por reducir el peso de estos trenes se traduce en:

Utilizar una rodadura mono eje entre cada dos coches en lugar del convencional bogie de dos ejes. Diseño de todos los coches de pasajeros con estructura en aluminio en lugar del tradicional acero. Adicionalmente y siguiendo esta línea de reducción de peso, en todos los desarrollos más recientes, como la plataforma AVRIL, Talgo trabaja en:

La selección de aleaciones de aluminio ligeras. Modernos procesos de soldadura con óptimas características estructurales. Aceros de alto límite elástico. Utilización de materiales compuestos emulando a la tecnología de otros sectores, como la aeronáutica, la naval y la de los aerogeneradores, con el fin de aligerar la estructura. Rediseño de otros elementos del tren, incluyendo asientos, asideros, conductos, revestimientos, carenados, suelo, etc.

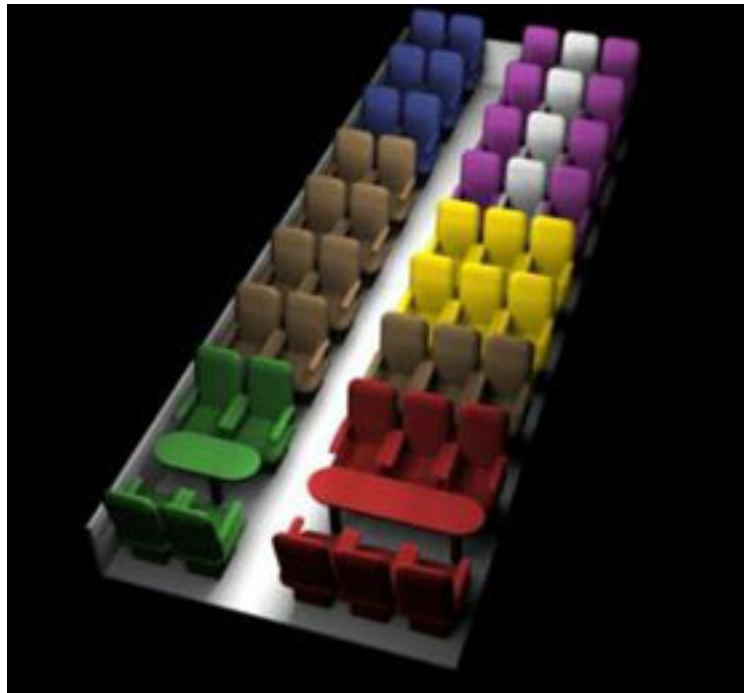
5.1.2.2. CAJA ANCHA.

Talgo ha desarrollado el coche de pasajeros más ancho del mercado para gálibo europeo, lo que para alta velocidad no se había hecho antes en Europa.



Fuente: [66]; 2904 mm coche convencional; 3200 mm coche Talgo. Fuente: [Talgo.com]

Este coche dispone de 5 butacas por fila (25% más de capacidad de carga), logrando mantener el mismo nivel de confort de un coche de pasajeros de 4 butacas, gracias al cuidado puesto en la distribución para que este aumento de capacidad no supusiera reducir el espacio libre. Además, posee la accesibilidad propia de un tren de un solo piso, sin rampas ni escalones.



Fuente: [67]; Configuración butacas. Fuente: [Talgo.com]

Pasajeros/as individuales
Parejas o Grupos de 2 personas
Familias o Grupos de 3 personas
Familia o grupos de cuatro
Familia o grupos de seis
Butaca intermedia sólo si el factor de ocupación es superior al 80%

Esta configuración ha sido posible gracias al empleo de las características propias de la tecnología Talgo, de tren articulado, coches cortos y rodales mono eje, y al sistema de posicionamiento de cajas de Liebherr. Según su página web en castellano (en octubre de 2013): "El sistema de posicionamiento de vagones de Liebherr centra el cuerpo del vagón activamente mediante su eje de balanceo en la posición central, actuando simultáneamente como amortiguador. No facilita solamente velocidades de marcha más rápidas, sino también aumenta el confort de conducción. Con esto, Talgo puede realizar en los trenes AVRIL 3 también un cuerpo del vagón más ancho". El desarrollo de un robusto sistema de guiado mecánico de los coches ha permitido garantizar su inscripción en curva dentro de los parámetros del gálibo internacional.

5.1.2.3. SISTEMAS ACTIVOS DE GUIADO

Sistemas de guiado que permiten reducir la fricción lateral entre rueda y carril con el objetivo de:

- Minimizar costes de mantenimiento del tren y de la vía.
- Mayor confort en el viaje para el pasajero.
- Reducir el ruido generado por la fricción en curvas.



Figura: [68]; Sistema de guiado. Fuente: [Talgo.com]

Según su artífice, José Luis López, en el nuevo sistema "se guía al primer rodal mediante un conjunto electrónico que detecta la posición de la rueda sobre el carril, para que un mecanismo sitúe el rodal en su posición óptima: centrado sobre el mismo, así la superficie de contacto será la mayor posible". Solo sirve para "ruedas libres", así que se descartan los bogies. Además posee el eje dinamométrico, cuya función es determinar la fuerza de contacto entre rueda y carril evaluando la calidad de la rodadura dentro de los parámetros de la normativa ferroviaria europea que regula el riesgo de descarrilamiento de un tren.

5.1.2.4. SUSPENSIÓN ACTIVA

Se trata de un moderno sistema de control de la suspensión que Talgo se ha propuesto incorporar a sus trenes de alta velocidad, cuyo funcionamiento es el siguiente:

1. Una red de sensores convenientemente distribuidos en distintos puntos del tren recogen información de la vibración.
2. Esta información fluye por los buses de comunicación integrados en el tren hasta llegar al módulo de control.
3. Entonces, la electrónica de señal ejecuta la ley de control diseñada en código de lenguaje de alto nivel, devolviendo las instrucciones necesarias para minimizar las vibraciones.
4. Finalmente, la electrónica de potencia alimenta los actuadores distribuidos en el tren para modificar las características de la suspensión y adaptarse en tiempo real a la situación de la vía.

Gracias a este sistema se consiguen unos niveles superiores de confort para el pasajero.

5.1.2.5. SISTEMA REGATO

REGATO (**Regulated Energy Efficient Automatic Train Operation**) es un sistema de conducción automática eficiente para trenes de alta velocidad que, bajo la supervisión del sistema de TCMS de conducción segura, aplica criterios de eficiencia energética a la gestión de los sistemas de tracción y freno, que permiten:

- Una óptima regulación de velocidad cumpliendo las restricciones impuestas por la infraestructura.
- Se aseguran los horarios comerciales, respetando las limitaciones impuestas por el tráfico existente en la vía.
- Una considerable reducción del consumo energético.

Lo que hace del tren de alta velocidad Talgo una alternativa, si cabe aún más ecológica frente a otros medios de transporte alternativos.



Figura: [69]; Cabina de control. Fuente: [Talgo.com]

5.1.3. OTROS SISTEMAS

Por otra parte, en el **G3** Indra se encarga del desarrollo del software del ETCS, y del ASFA Digital, Alstom de la instalación de los equipos ETCS, Railtec Systems de la cadena de tracción y ABB del convertidor de tracción. El interior ha sido diseñado por Haslacher, Constellium se encarga del aluminio extruado de las cajas y de los paneles interiores, las puertas exteriores son de Bode, la climatización de Faiveley, las butacas de Fainsa y las piezas de material compuesto de Aeropoxi.

El **G4** incluirá un sistema de ocultación de pantógrafos inactivos para mejorar la aerodinámica.

5.1.3.1. ANÁLISIS DINÁMICO

La dinámica ferroviaria, desconocida para la gran mayoría de los usuarios finales del tren, es la tecnología que ha permitido diseñar trenes con la capacidad de circular a 350 km/h ofreciendo los mayores niveles de seguridad y confort. Desde el Talgo III, un tren que en los años 60 fue capaz de circular a 180 km/h y que marcó una referencia en su época, hasta los actuales T-350 que prestan servicio por la red de alta velocidad española, Talgo ha venido desarrollando una excelencia en investigación e innovación en el ámbito de la dinámica ferroviaria.

Hoy en día Talgo utiliza las más modernas técnicas de simulación virtual, ensayando modelos dinámicos que integran criterios de ligereza y eficiencia energética para diseñar los bogies y rodales del nuevo tren Avril.

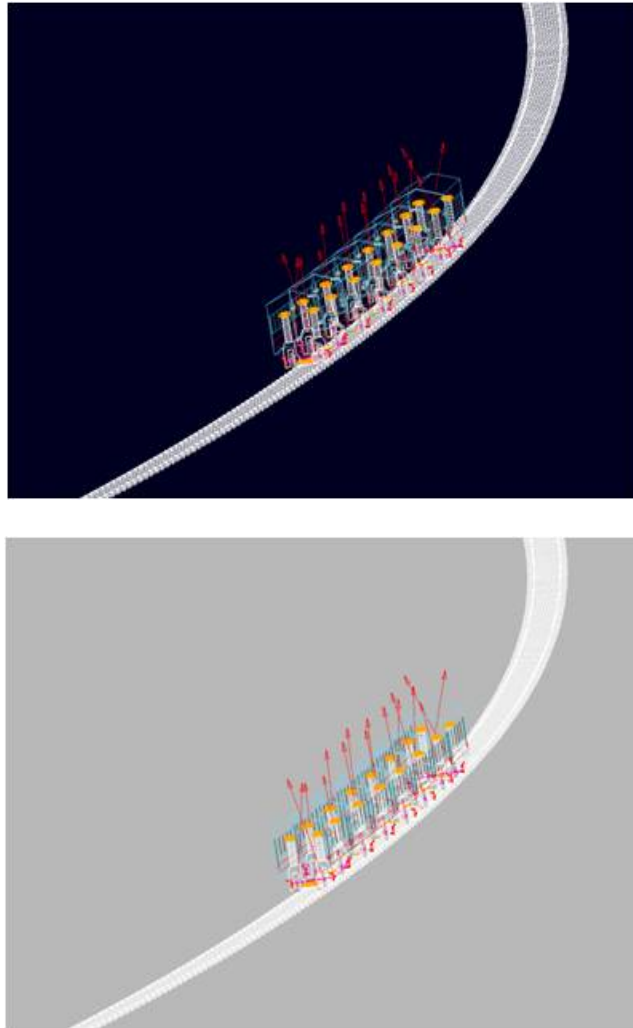


Figura: [70]; Análisis dinámico. Fuente: [Talgo.com]

En esta labor, Talgo cuenta con la valiosa colaboración de expertos/as de diversas universidades españolas como la Universidad Politécnica de Valencia y la Universidad Politécnica de Zaragoza.

5.1.3.2. EJE DINAMOMÉTRICO

La estricta normativa ferroviaria europea que regula el riesgo de descarrilamiento de un tren (UNE-EN 14363), requiere la homologación de los vehículos rodantes a través de ensayos con ejes calibrados.

El eje dinamométrico determina la fuerza de contacto entre rueda y carril evaluando la calidad de la rodadura dentro de los parámetros de la norma. Debido a las peculiares características de la rodadura de ruedas mono-eje independiente de nuestros trenes, Talgo viene desarrollando sus propios ejes dinamométricos calibrados estática y dinámicamente para su homologación conforme a la norma. De esta manera Talgo se sitúa a la vanguardia de la investigación en el campo de la seguridad de la dinámica ferroviaria aumentando el conocimiento y participando en el proceso de homologación de sus propios trenes.



Figura: [71]; Eje Dinamométrico. Fuente: [Talgo.com]

5.1.3.3. REDUCCIÓN DE PESO

La eficiencia energética y por consiguiente, la mayor sostenibilidad de los trenes Talgo, se consigue en gran medida gracias al esfuerzo continuado en la reducción de peso en todos y cada uno de los componentes que integran el tren. Esta ligereza de los trenes Talgo, además del mejor resultado energético, logra que los ratios de aceleración y desaceleración disminuyan, es decir, se consigue que estos procesos de aceleración y de desaceleración se logren en menos tiempo.

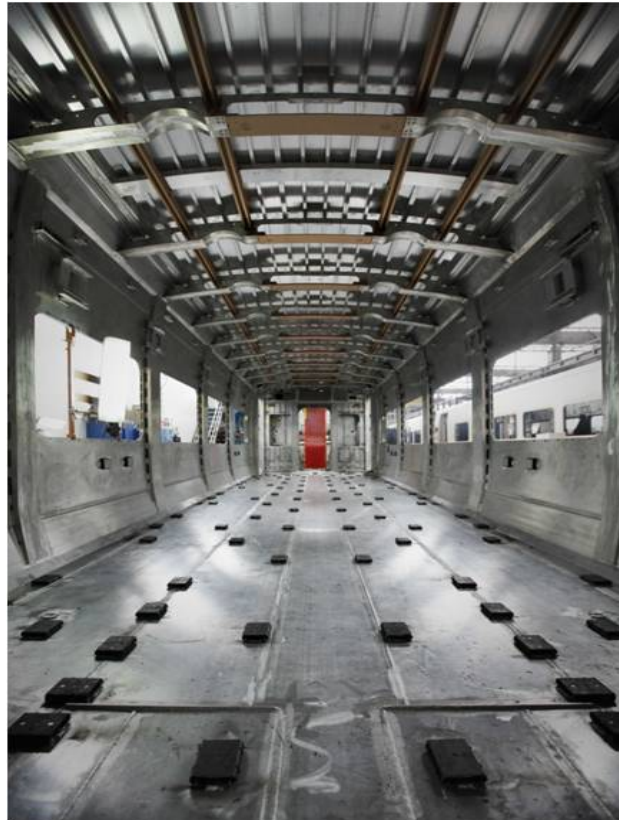


Figura: [72]; Diseño coche con reducción de peso. Fuente: [Talgo.com]

El esfuerzo por reducir el peso se traduce en:

- Utilizar una rodadura mono-eje entre cada dos coches en lugar del convencional bogie de dos ejes.
- Diseño de todos los coches de pasajeros con estructura en Aluminio en lugar del tradicional acero.

Adicionalmente y siguiendo esta línea de reducción de peso, en todos los desarrollos más recientes, como la plataforma Avril, Talgo trabaja en:

- La selección de aleaciones de aluminio ligeras.
- Modernos procesos de soldadura con óptimas características estructurales.
- Aceros de alto límite elástico.
- Utilización de materiales compuestos emulando a la tecnología de otros sectores como la aeronáutica, la naval y la de los aerogeneradores con el fin de aligerar la estructura.
- Rediseño de otros elementos del tren, incluyendo asientos, asideros, conductos, revestimientos, carenados, suelo, etc.

5.1.3.4. INTERACCIÓN PANTÓGRAFO-CATENARIA

A medida que aumenta la velocidad comercial de los trenes por encima de 300 km/h, en un escenario mundial de altos costes de la energía, la captación eficiente de la misma por el pantógrafo se vuelve un aspecto crítico.

En Talgo estamos desarrollando un método de optimización del contacto dinámico entre el pantógrafo y la catenaria mediante un modelo virtual que permitirá:

- Mejorar el conocimiento del sistema de captación.
- Simplificar la selección de los equipos.
- Adecuar en tiempo real la fuerza de elevación del pantógrafo en función del estado real de la catenaria.
- Minimizar pérdidas energéticas por despegue.



Figura: [73]; Detalle catenaria. Fuente: [Talgo.com]

5.1.3.5. OPTIMIZACIÓN AERODINÁMICA

Talgo se ha propuesto desarrollar una particular excelencia en el campo de la aerodinámica demandada por las necesidades de alta eficiencia energética del entorno económico actual, así como por el reto tecnológico que impone la alta velocidad ferroviaria.

La aerodinámica tiene un gran impacto en múltiples características del tren, entre ellas están la velocidad máxima alcanzable, el consumo energético, la seguridad, el confort, el ruido (interior y exterior) o la presión en la sala de pasajeros/as. Por esta razón se precisa la búsqueda de una solución integral para los diferentes problemas que presenta la aerodinámica ferroviaria como: la acústica, túneles, resistencia, viento lateral, etc. Con este fin, Talgo ha desarrollado modernas herramientas de simulación aerodinámica por ordenador en colaboración con ingenierías de alto prestigio como Voith, Sener y El Instituto Universitario de Micro gravedad "Ignacio Da Riva" (IDR) de la Universidad Politécnica de Madrid.

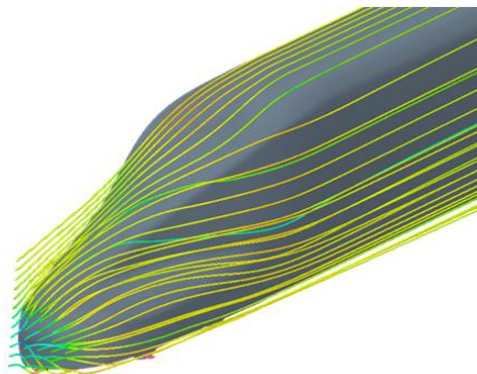


Figura: [74]; Simulación Aerodinámica. Fuente: [Talgo.com]

La metodología Talgo se basa en el uso de herramientas CFD calibradas mediante ensayos sobre maquetas en túnel de viento y ensayo de prototipo real en vía.

Por otra parte, el modelo tridimensional del tren es sometido a escenarios virtuales entre los cuales se incluye la entrada en túnel, el cruce de trenes, el viento lateral y el paso del tren por la estación. Estas situaciones son simuladas numéricamente, permitiendo optimizar el diseño para todas estas situaciones reales.

5.1.3.6. RECICLABILIDAD

Con el objetivo de reducir el impacto medioambiental del producto una vez terminada su vida útil, Talgo, adelantándose a las futuras normativas del sector ferroviario y en colaboración con el Centro Tecnológico Español Tecnalia, está incorporando en el desarrollo de sus productos modernas técnicas de diseño para la mejora del proceso de reciclaje.

Estas técnicas suponen la implantación de una metodología basada en criterios de Eco-Diseño en la que se contemplan aspectos como:

- La identificación de los materiales.
- El desmonte.
- Facilidad de acceso.
- Versatilidad de herramientas de desmontaje.
- Aptitud para la reutilización.
- Técnicas de unión.
- Compatibilidad de los materiales.

Todos estos aspectos permiten garantizar la aptitud del diseño de los futuros trenes Talgo para su posterior reciclaje y recuperación energética. Asimismo Talgo está desarrollando, en colaboración con sus proveedores, una base de datos que recoge los parámetros de reciclaje de los materiales empleados, para así monitorizar y mejorar la tasa de reciclaje de sus productos.

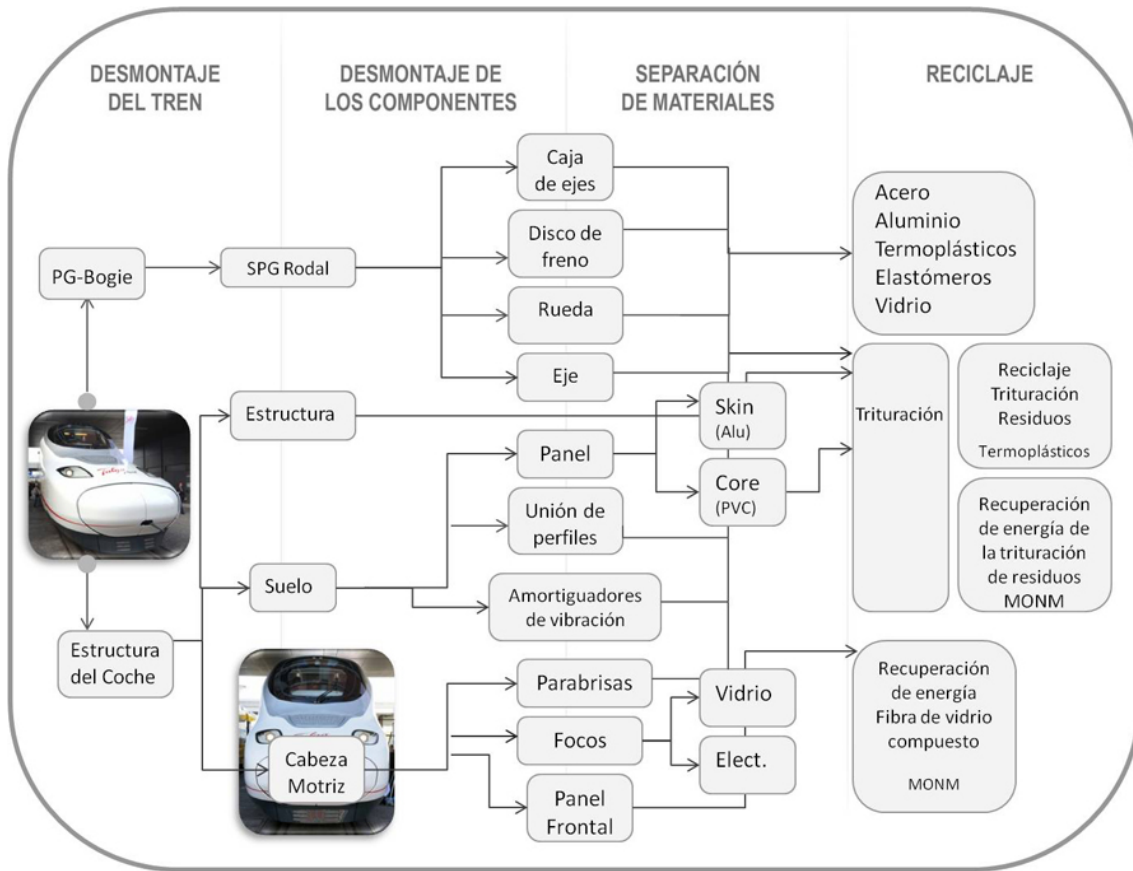


Figura: [75]; Esquema reciclaje. Fuente: [Talgo.com]

5.1.3.7. SEGURIDAD PASIVA

A lo largo de su amplia historia como fabricante de trenes en España, Talgo cuenta con un impecable récord en los niveles de seguridad de su material rodante. Esto se ha conseguido gracias a unos diseños robustos y a un constante esfuerzo en la optimización de los niveles de seguridad pasiva del tren.

Hoy en día Talgo utiliza las más modernas metodologías de modelos dinámicos de seguridad pasiva y ensayos virtuales.

El sistema de seguridad pasiva de los trenes Talgo incluye elementos de absorción de energía convenientemente distribuidos por todo el tren, zonas pre-diseñadas para su deformación estructural controlada, sistemas mecánicos para reducir el riesgo de descarrilamiento y la propia disposición articulada de la rodadura que previene el encaballamiento de coches en caso de colisión.



Figura: [76]; Detalle testero. Fuente: [Talgo.com]

El principal objetivo de estos estudios es garantizar la seguridad de los ocupantes en caso de colisión según los escenarios definidos en las normativas a nivel mundial definidas a continuación:

- ▣ ETI 2008: Seguridad pasiva estructural en Europa.
- ▣ EN 15227: Seguridad pasiva estructural en Europa.
- ▣ APTA ss-C&S-034-99 rev2: Seguridad pasiva estructural en EEUU (incluye ensayos de asientos).
- ▣ Tier I Alternative Compliant: Seguridad pasiva estructural en EEUU (incluye ensayos de asientos).
- ▣ Especificaciones concretas del fabricante: Seguridad pasiva estructural en EEUU (incluye ensayos de asientos).
- ▣ Instruction 2740: Seguridad pasiva en Rusia (incluye ensayos de asientos)

Además de estas normativas, en ofertas de diferentes países se incluyen escenarios de colisión específicos basados en su accidentología. Los escenarios más frecuentes son de impactos con distintos animales o en condiciones distintas a tramo en recta.

Asimismo, en la EN 15227 se indica cómo debe hacerse la definición de un escenario de colisión si las condiciones de operación son distintas a las “generales” en Europa, por lo que pueden aparecer condiciones diferentes en función del lugar donde se vaya a circular.

Seguridad interior del viajero/a

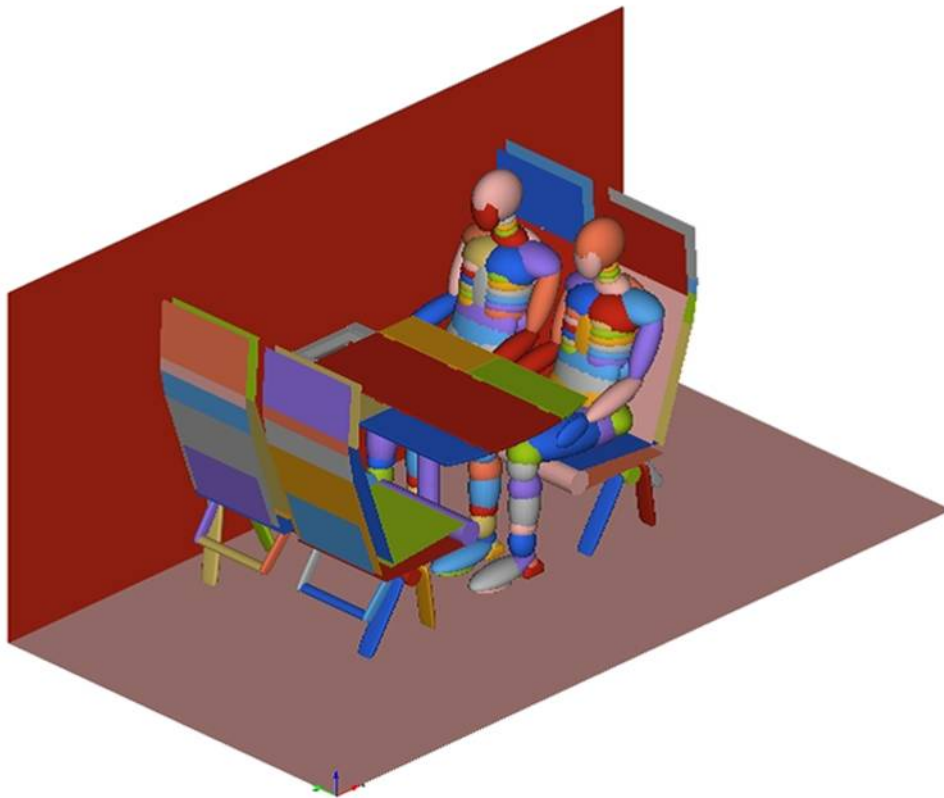


Figura: [77]; Simulación con “Dummies” virtuales. Fuente: [Talgo.com]

Una de las líneas de investigación para la mejora de la seguridad pasiva en los trenes Talgo es el diseño interior de los coches de pasajeros. Para contribuir a esta investigación, Talgo desarrolla modelos de simulación del interior de sus trenes con la utilización de “dummies” virtuales que permite la experimentación mediante ensayos, también virtuales de los distintos escenarios de choque del tren. Así, Talgo optimiza el diseño, distribución y selección de los materiales de la sala de pasajeros/as para maximizar la seguridad de sus ocupantes.



Figura: [78]; Diseño y distribución de coches. Fuente: [Talgo.com];

5.1.3.7.1. PROYECTO RAILCEN

Uno de los aspectos clave de la seguridad del interior de los coches de pasajeros es su optimización para la resistencia al fuego.

Con el objeto de aumentar el conocimiento sobre el comportamiento de los materiales de interiorismo y su adecuación a los niveles de riesgo exigidos en la normativa, Talgo participa en un proyecto de protección contra incendios en vehículos ferroviarios, el Proyecto Railcen.

Este proyecto consiste en el estudio de la evolución del incendio en vehículo ferroviario provocado por materiales de interiorismo de acuerdo a CEN / TS 45545-2 "Protección contra incendios en vehículos ferroviarios".

La colaboración principal de Talgo se centra en el análisis virtual del desarrollo del incendio mediante herramientas de simulación y su validación por medio de ensayos de incendio a escala real.

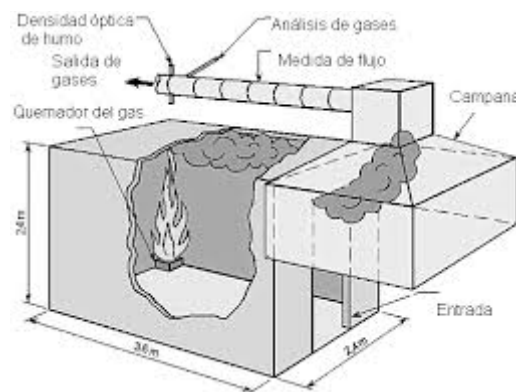


Figura: [79]; Esquema de un ensayo. Fuente: [Talgo.com]

5.1.3.8. CONFORT

5.1.3.8.1. SUELO FLOTANTE



Figura: [80]; Suelo flotante. Fuente: [Talgo.com]

Para la reducción de los niveles de ruido y vibraciones en el tren, el papel del suelo en la sala de pasajeros/as es clave por su función de aislante acústico y vibratorio del ruido procedente de la rodadura. Asimismo, el confort climático proporcionado por la calefacción depende en gran medida de la óptima distribución de las fuentes de calor en la sala. Talgo integra ambos objetivos en el nuevo piso flotante radiante que está desarrollando en colaboración con Tecnalia e Inasmet.

El diseño y desarrollo de este nuevo suelo flotante para trenes de muy alta velocidad y capacidad, como el último desarrollo de Talgo, la plataforma Avril, se realiza con los objetivos de:

- Alta reducción de peso, con el consiguiente ahorro energético, al incorporar el “know how” del sector aeronáutico.
- Mejorar el aislamiento acústico.
- Maximizar la optimización del comportamiento dinámico.
- Incrementar el confort del pasajero/a.

5.1.3.8.2. MODELIZACIÓN VIBROACUSTICA

El/la pasajero/a de un tren de Alta Velocidad espera un elevado nivel de confort durante su viaje, razón por la cual Talgo trabaja en colaboración con Cidaut para reducir los niveles de ruido y vibraciones tanto en salas de pasajeros/as como en cabinas de conducción.

Este confort vibroacústico en el interior de los coches está estrechamente ligado a dos factores:

- Comportamiento vibratorio de la estructura: rigidez estructural de las cajas.
- Comportamiento vibratorio y características aislantes y acústicas de los revestimientos y equipamientos interiores.

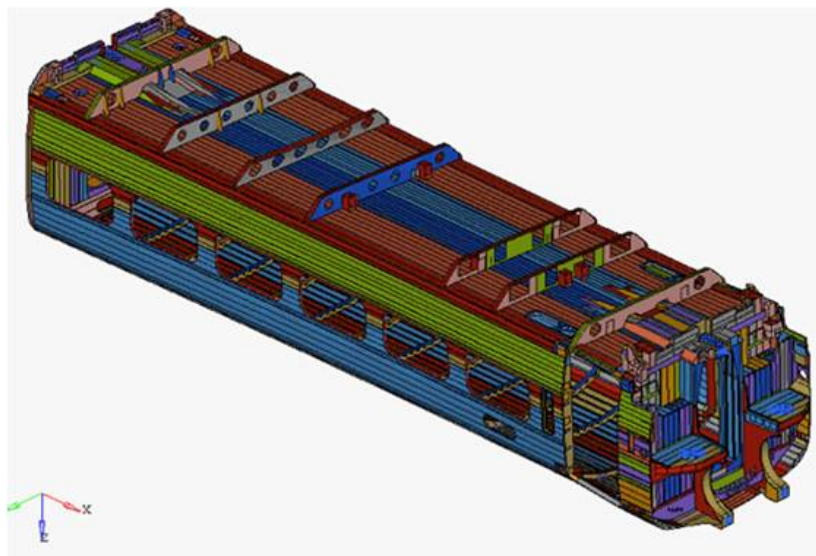


Figura: [81]; Simulación Vibroacústica. Fuente: [Talgo.com];

Con el objetivo de reducir los niveles de vibración y de ruido, Talgo desarrolla para sus trenes modelos vibroacústicos que integran ambos factores y que permiten mediante técnicas de simulación contrastadas (FEM/BEM/SEA) y análisis experimentales en trenes reales:

- Predecir niveles acústicos en el interior de los coches.
- Incorporar el criterio de reducción máxima de ruido en el proceso de diseño de nuevos productos.
- Optimización del comportamiento en trenes existentes en el mercado que se someten a remodelaciones.

5.1.3.8.3. ERGONOMÍA

Parámetros basados en la reducción del esfuerzo, confort, versatilidad del uso, respeto a las personas con movilidad reducida, variabilidad de la población, etc. son optimizados utilizando las más modernas técnicas de simulación biomecánica y antropométrica.



Figura: [82]; Diseño para movilidad reducida. Fuente: [Talgo.com];

Para la mejora del diseño de los elementos del interior de los nuevos trenes Talgo, se realizan ensayos con trenes reales con el fin de llevar a cabo un análisis ergonómico de dos áreas:

➤ Vehículo o coche de Pasajeros: Análisis de vibraciones, modelización 3D de accesos, pasillos y asientos, captura y caracterización del movimiento humano, evaluación específica de accesibilidad.

➤ Puesto de Trabajo de Maquinista (Cabeza tractora): Análisis funcional del puesto, modelización 3D del puesto, análisis del movimiento ocular, análisis de la mano, análisis de vibraciones de cuerpo entero.

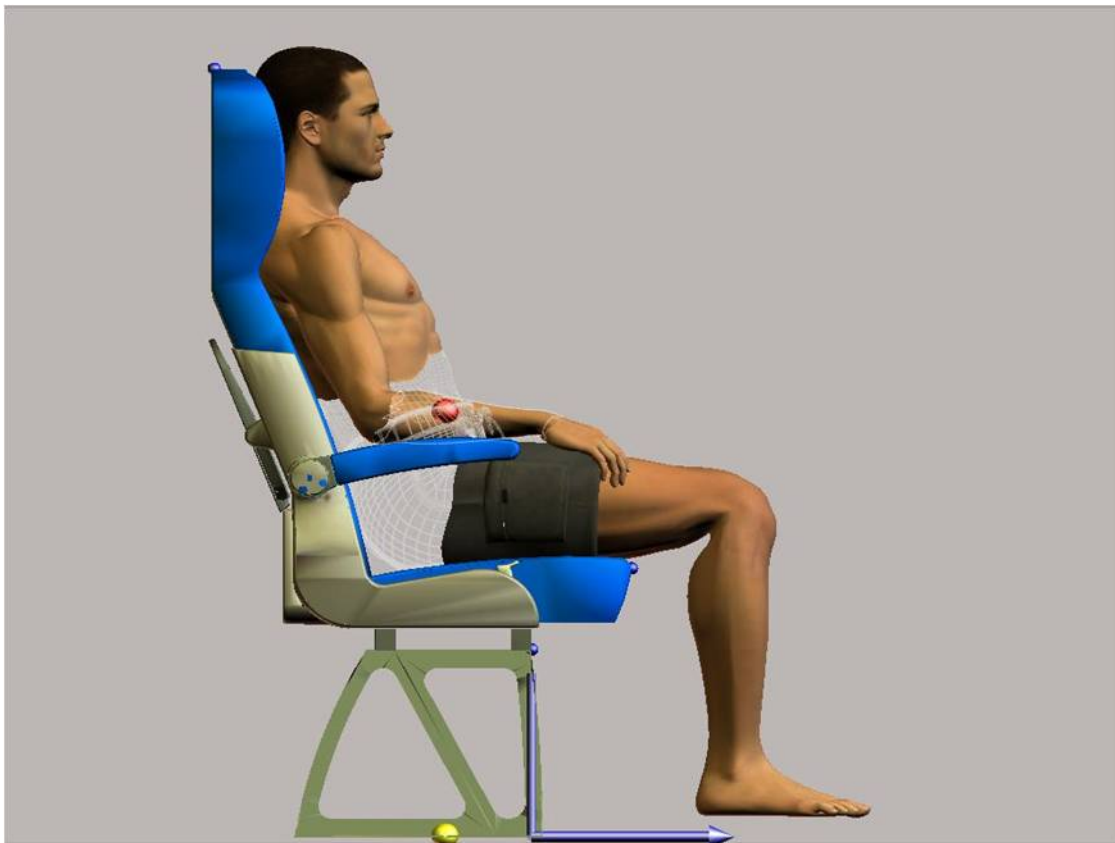


Figura: [83]; Diseño ergonómico. Fuente: [Talgo.com];

Talgo, con miras a obtener los mejores resultados para este proyecto, se apoya en la experiencia y saber hacer del Grupo de Idergo de la Universidad Politécnica de Zaragoza.

5.1.4. ANTECEDENTES

El «AVRIL» es un nuevo tren de alta velocidad que surge tras el éxito de la anterior serie de alta velocidad de Talgo, la Serie 102 de Renfe. Corresponde a la nueva familia de trenes de alta velocidad que prevé comercializar en la segunda década del siglo XXI.

El concepto «AVRIL» fue presentado el 18 de septiembre de 2008 en la séptima edición del *Máster de Sistemas Ferroviarios* que tuvo lugar en Madrid.

Llegan al puerto de Lübeck la cabeza tractora y el primer coche del Avril G3 de primera generación, que será presentado en InnoTrans 2012.

El 10 de marzo de 2014 se realiza el traslado del Avril desde Las Matas hasta el complejo ferroviario de La Sagra, Madrid .

El 7 de agosto de 2014 se publica una Consigna de Pruebas para 200 km/h en los trayectos La Sagra-Sevilla y Torrejón de Velasco-Valencia. Los ensayos comienzan a mediados de agosto entre Urda y Mora en la primera de esas líneas.

El 12 de diciembre de 2014 se instala el pantógrafo instrumentado de alta y la cámara con visión B/N del tren auscultador de ADIF *Séneca*, comenzando las pruebas del pantógrafo el 8 de enero de 2015. Durante estas pruebas ya se ha alcanzado la velocidad de 300 km/h.

El 25 de febrero de 2015 se dispone a realizar pruebas entre el depósito de La Sagra y la Estación de Toledo.

El 2 de marzo de 2015, el prototipo alcanza los 363 km/h necesarios para su homologación a 330 km/h.



Figura: [84]; Configuración AVRIL. Fuente: [Talgo.com];

5.2. AGV

El AGV ha sido diseñado para el mercado mundial de muy alta velocidad, que se encuentra en pleno período de expansión. Le permite llevar a cabo, con total seguridad, operaciones diarias a 360 km/h, ofreciendo a los pasajeros una amplia gama de servicios a bordo. El AGV de un piso, así como el TGV Dúplex de dos pisos, ofrecen a los operadores flexibilidad y capacidad en los itinerarios nacionales e internacionales. El AGV, un tren totalmente fiable, ofrece prestaciones superiores durante su ciclo de vida (sus costes de ciclo de vida son un 15% inferiores a los de la competencia). Asimismo, asegura menores costes totales de los trenes, teniendo en cuenta desde la inversión inicial hasta la operación y el mantenimiento. El AGV combina la filosofía del sólido diseño del TGV y treinta años de experiencia tecnológica en sistemas ferroviarios de muy alta velocidad, con innovaciones revolucionarias. En la actualidad, más de 560 trenes Alstom de muy alta velocidad operan a velocidades superiores a los 300 km/h (más de un 60% en todo el mundo). En total, ya han transportado a más de 1700 millones de pasajeros.

El AGV es el primer tren de muy alta velocidad (VHST) concebido como un tren interoperable internacionalmente que satisface las necesidades de todos los actores involucrados: operadores, pasajeros (incluso personas con movilidad reducida), conductores de trenes, encargados de mantenimiento de flotas de trenes, y administradores de infraestructuras ferroviarias). Segura, económica y versátil, la gama AGV de muy alta velocidad respeta el medio ambiente y, al mismo tiempo, ha sido diseñada pensando en la comodidad del pasajero. Los operadores pueden elegir entre el AGV de un piso y el TGV Dúplex para componer las flotas de VHST interoperables que mejor se adapten a sus necesidades. El tren de dos pisos está destinado al tráfico intenso de viajeros. Ofrece la más alta capacidad ferroviaria del mercado y un elevado nivel de confort. Asimismo, cumplirá con los últimos requerimientos de las TSI * y estará equipado con los mejores elementos de confort (como por ejemplo, el sistema de información al pasajero). Como complemento al TGV Dúplex de alta capacidad, el AGV cuenta con una composición flexible en la arquitectura de un piso. Desarrollado para operaciones internacionales sin interrupciones a 360 km/h, el AGV ha sido diseñado para respetar completamente las TSI . Puede ser utilizado para prestar un servicio con múltiples paradas, bifurcaciones y rutas internacionales.

El 3 de abril de 2007, el tren Alstom V150, probado de forma conjunta con SNCF y RFF, alcanzó una velocidad de 574,8 km/h al Este de Francia, en la nueva línea Europea de alta velocidad. El tren V150 está integrado por dos coches extremos motrices TGV y tres coches TGV Duplex, equipados con unidades de tracción y dos bogies motorizados de tecnología AGV. El diseño del nuevo bogie AGV ha demostrado que cuenta con una excelente estabilidad en condiciones extremas de prestaciones. Asimismo, el motor de imanes permanentes del AGV, así como sus pantógrafos, unidades de tracción y transformadores han sido íntegramente validados. El récord mundial se obtuvo tras miles de horas de pruebas, en las que participaron 300 ingenieros y técnicos.

5.2.1. DESCRIPCIÓN

Alstom ha bautizado como **AGV (Automotrice à grande vitesse)** los electrotrenes de Alta Velocidad que deben suceder al TGV. El primer prototipo se presentó el 5 de febrero de 2008.

La innovación más importante, es que el **AGV** combina la tracción distribuida y la arquitectura de los trenes articulados de bogie compartido entre los coches, típica de los TGV o Renfe Serie 100. Esta es una solución distinta a la de los ICE, Velaro o Serie 103 de Siemens, también con tracción distribuida pero con dos bogies por coche. Mantener la arquitectura articulada de los TGV, basada en bogies entre coches, ofrece ventajas en términos de estabilidad y seguridad en caso de accidente al dar rigidez a todo el tren y evitar deformaciones y el pliegue "en acordeón", como ocurre en los trenes no articulados. Además, al estar situados los bogies entre los coches, las vibraciones, los ruidos y los movimientos entre coches son menores.

Otra innovación importante del **AGV** es la utilización de convertidores IGBT refrigerados con agua y el uso de motores síncronos con imanes permanentes para la tracción y el freno dinámico. Según Alstom este sistema de tracción es un 20% más ligero, tiene menor consumo y ocupa menos volumen que las generaciones precedentes.

A pesar de que un TGV a 330 km/h produce el doble de ruido que uno a 300 km/h, el diseño del tren y la incorporación de deflectores de aire sobre los bogies así como el uso de materiales aislantes, permiten que el nivel de ruido a 360 km/h sea comparable al de generaciones anteriores de tren a 300 o 320 km/h^[2].

Alstom indica que el nuevo **AGV**, cuyo desarrollo ha durado 14 años, consume un 15% menos de energía que los TGV, permite bajar los costes de mantenimiento en un 30%, al tiempo que la capacidad útil aumenta en un 20%. El factor potencia/masa es muy elevado (22 kW/t).

Alstom ofrece versiones del **AGV** de 7, 8, 11 y 14 (130 a 250 m y entre 250 y 650 plazas) y que pueden circular con 25 y 15 kV ca y 1.5 y 3.0 kV cc. ERTMS y otros sistemas de seguridad están previstos. La velocidad máxima es de 360 km/h.



Figura: [85]; Simulado AGV. Fuente: [trensims.com]

5.2.2. COSTE - PRIMERAS VENTAS



Figura: [86]; Tren AGV de NTV. Fuente: [Ferropedia.es];

El primer cliente de Alstom para el AGV fue la compañía privada NTV (Nuovo Trasporto Viaggiatori), que adquirió por 650 M € 25 unidades de 11 cajas, con capacidad para 458 pasajeros cada tren (27 clase "Club", 143 clase "Prima", 249 clase "smart", 39 clase "smart cinema"). El contrato contempla una opción de diez trenes más y el mantenimiento por 30 años (cuyo coste no está incluido en el montante de 650 M €). Los trenes debían circular comercialmente a partir de 2011. El costo por plaza, en € de Dic. 2006, fue de 55.066 €/plaza, un precio inferior al de su competidor directo, el Velaro de Siemens (tomando como referencia la serie 103 de Renfe).

Un prototipo de 7 coches fue presentado públicamente en la factoría de Alstom de La Rochelle el 5 de febrero de 2008.

Después de 55.000 pruebas llevadas a cabo durante dos años en el centro de pruebas de ferrocarril en Velim (República Checa) y en la LGV Est européenne en Francia, el prototipo comienza las pruebas, en la red italiana, el 14 de enero de 2010, donde debe cubrir de 60.000 km entre enero y julio de 2010. El tren debe lograr una velocidad máxima de 335 km/h, en pruebas para ser homologado a 300 km/h.



Cabeza motriz del prototipo de **AGV** en InnoTrans 2008.

Tipo de vehículo:	Automotor eléctrico de alta velocidad.
Fabricante:	Alstom
Nº de unidades:	25 para NTV.
Año de recepción:	2010-11 (pedido en 1-2008).
Composición:	7 a 14 coches, versión para para NTV11 coches.
Distancia entre topes:	130 a 250 m
Peso en servicio:	250 a 510 t
Potencia:	6.000 a 12.000 kW
Ancho de vía:	ancho UIC
Tensión:	25 kV 50 Hz, 15 kV 16,7 Hz, 3 kVcc, 1,5 kVcc
Número de plazas:	250 a 650 plazas
Costo de compra:	en € 12-2006, 26 M€/unidad, 55.066 €/plaza (para unidad "Italo" de 11 coches y 458 plazas para NTV)

5.2.3. DISEÑO QUE GARANTIZA LA SEGURIDAD Y LA PROTECCIÓN



Figura: [87]; Testero delantero AGV. Fuente: [Doc4Net.es];

Seguridad y protección son dos atributos fundamentales del AGV, perfeccionados por Alstom durante los 30 años en que ha incrementado su conocimiento técnico sobre VHST.

5.2.3.1. ARQUITECTURA ARTICULADA DE TRENES

El AGV no sólo está equipado para garantizar la seguridad. La seguridad es parte integrante de su diseño básico. Si analizamos la probada arquitectura articulada del tren, podremos observar que cada coche comparte un bogie con el coche adyacente, creando, de esta manera, una unión semirrígida entre ambos. Además de proporcionar un confort dinámico de calidad superior, esta arquitectura integral del tren minimiza el riesgo de averías y colisiones entre dos coches, en caso de descarrilamiento. Al mismo tiempo, limita el riesgo de que un descarrilamiento pueda ocasionar un accidente grave.

5.2.3.2. TESTERO PENSADO PARA LA SEGURIDAD

Gracias al diseño exclusivo de su testero, el AGV cumple íntegramente con los requerimientos de las TSI de resistencia a la colisión, tal como se define en una serie de escenarios de potenciales colisiones. La energía cinética de la unidad de absorción, instalada en la cabeza del AGV, ofrece los más altos niveles de protección, tanto para el conductor como para los pasajeros del primer coche en caso de producirse una colisión. Consiste en un dispositivo de deformación de 3 fases que absorbe 4,6 MJ (equivalente al impacto de un vagón pesado a 110 km/h).

5.2.3.3. EL CONDUCTOR DE AGV, SEGURO Y PROTEGIDO

La cabina del conductor no sólo ha sido diseñada para optimizar su ergonomía y su confort, sino también para asegurar un máximo nivel de seguridad para el conductor. La estructura del área de la cabina ha sido especialmente estudiada para conservar su integridad en caso de colisión. El pupitre de conducción y las áreas adyacentes han sido diseñadas con formas redondeadas, a fin de evitar lesiones en caso de producirse un impacto. Asimismo, se han llevado a cabo simulacros con maniquíes de prueba para verificar que el entorno no sea agresivo. Con el fin de optimizar la seguridad, el conductor cuenta con una puerta de entrada exclusiva, y todas las cabinas que contienen equipos vitales se encuentran ubicadas en la zona protegida del conductor, cuyo acceso está prohibido a personas no autorizadas.



Figura: [88]; Diseño seguridad AGV. Fuente: [Alstom].

5.2.4. LA FLEXIBILIDAD PARA SATISFACER SUS NECESIDADES DE SERVICIO

El AGV ha sido diseñado para ofrecer a los operadores la flexibilidad que necesitan en lo que respecta a la composición y el interior de los trenes.

5.2.4.1. LA IMPORTANCIA DE SER FLEXIBLE

El AGV se ofrece en composiciones de trenes de 7, 8, 10, 11 y 14 coches. los trenes AGV de hasta 7 coches pueden ser operados en unidades múltiples (dentro del límite de longitud estándar de las TSI de 400 m) en un itinerario inicial y, luego, en unidades separadas hacia diferentes destinos finales. Esta flexibilidad ofrece a los operadores importantes beneficios en términos de gestión de circulación. Asimismo, la flexibilidad de diseño del AGV permite a cada operador diseñar la configuración interior de los trenes de acuerdo a su propia estrategia de mercado y a su equilibrio ideal entre confort y capacidad.

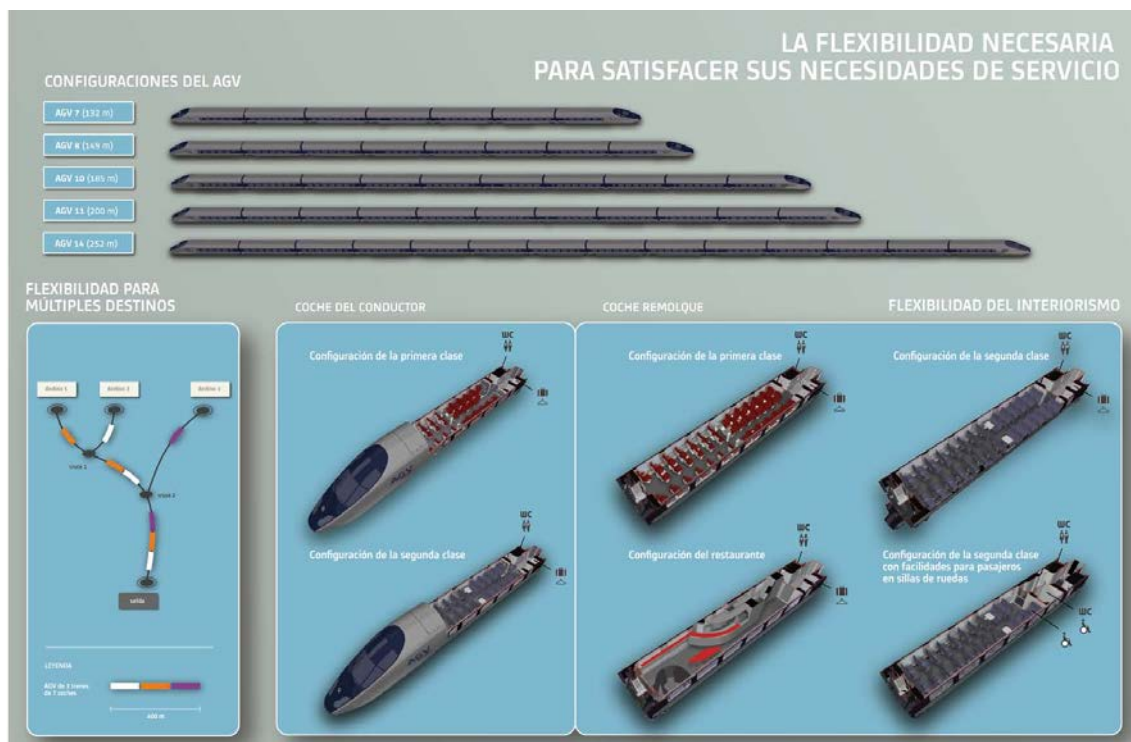


Figura: [89]; Configuraciones AGV. Fuente: [Alstom]

5.2.4.2. DISEÑO “TUBULAR” DE OPCIONES ABIERTAS

El AGV ha sido diseñado, básicamente, como un tubo hueco al que los operadores pueden equipar en la forma que consideren más apropiada para el modelo de su empresa. Con esta flexibilidad, obtenida también gracias a la cantidad de coches, mayor que la de la competencia para unidades de tren de la misma longitud, los operadores pueden optar por instalar diferentes zonas de entretenimiento, trabajo, reuniones, lectura y descanso. En cada una de estas zonas, es posible adaptar la iluminación para mejorar el ambiente deseado. Texturas, colores y nuevos tejidos desarrollados en forma conjunta entre Alstom y sus socios forman parte de las opciones disponibles para los operadores, a fin de imprimir un determinado carácter a las diferentes zonas de viaje. Gracias al diseño «tubular» del AGV, los operadores pueden reconfigurar de forma sencilla los interiores y la distancia entre asientos durante el ciclo de vida del tren.

5.2.5. MEJORAS EN EL CONFORT A BORDO

5.2.5.1. LOS PASAJEROS EN PRIMER LUGAR

Para el éxito de su negocio, es fundamental que cuente con trenes atractivos y confortables. Con el fin de ofrecer un confort óptimo, los coches del AGV son más amplios que cualquier otro coche de muy alta velocidad del mercado (de gálibo UIC). Esto le permite contar con asientos o pasillos más anchos. El AGV posee la ventana más grande en el mercado de trenes de alta velocidad, lo que le permite asegurar la iluminación natural y ofrecer vistas panorámicas que aumentan la sensación de amplitud de los pasajeros. Posibilidades electrónicas: información, entretenimiento y seguridad El AGV está equipado con una red central de Ethernet estándar para ofrecer los servicios multimedia y de conectividad que los pasajeros esperan en el siglo XXI. Asimismo, ofrece una amplia gama de equipos opcionales de servicios de información y entretenimiento para el pasajero, que incluye WiFi e Internet a bordo. Diseñada de manera modular, nuestra tecnología IT puede ser adaptada para satisfacer sus necesidades específicas, ya sea como un sistema integrado o en módulos separados. Nuestras soluciones de sistemas IP nos permiten integrar fácilmente equipos de otras marcas. Todos nuestros equipos cumplen con los estándares europeos y estadounidenses, con respecto a las comunicaciones visuales y de audio para los viajeros con discapacidades. El pupitre de conducción ha sido diseñado de forma ergonómica para el confort, el rendimiento óptimo y la seguridad El AGV ha sido concebido para ofrecer a todos los pasajeros un mayor confort: amplios compartimentos interiores y pasarelas, ventanas de gran superficie, mínimo movimiento y menores niveles de ruido interior, e instalaciones multimedia.

Pasar el tiempo como desee a bordo del AGV Gracias a la altura del piso del AGV, los pasajeros pueden subir al tren desde la plataforma con dos peldaños de 200 mm, lo cual cumple con las exigencias de las TSI para personas con movilidad reducida. Se ha prestado especial atención al mantenimiento de un reducido nivel de ruido. Gracias a la arquitectura articulada del tren, los viajeros pueden circular por el interior de manera más confortable, con menor vibración y menor ruido. El sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado ha sido diseñado a fin de ofrecer el mejor confort climático a los pasajeros, sin importar en qué país opere el AGV.



Figura: [90]; Arquitectura articulada AGV. Fuente: [Alstom]

5.2.5.2. MEJORAS PARA EL CONDUCTOR

La cabina cumple con los requisitos de las TSI en términos de protección contra colisiones e interoperabilidad. Ha sido sometida a rigurosas pruebas realizadas por equipos especializados en diseño ergonómico y estético, a fin de asegurar condiciones de trabajo satisfactorias, que incluyen estudios acústicos intensivos con el propósito de minimizar los niveles de ruido dentro de la cabina, consiguiendo limitarlos a 78 db a 330 km/h. La cabina está equipada con un sistema de climatización y una puerta de acceso individual, y se puede acceder directamente a todos los armarios eléctricos desde el interior del área exclusiva del conductor. El pupitre de conducción La posición del conductor y los controles del AGV están centrados en la cabina. La cabina cuenta con una luna frontal cónica de generosas dimensiones, que ofrece al conductor un excelente campo visual y luz natural. El pupitre puede ser operado por un solo conductor, y la cabina cuenta con una plaza para el conductor ayudante. Se ha llevado a cabo un estudio ergonómico, utilizando modelos digitales a fin de minimizar la fatiga del conductor y de conseguir pantallas de fácil uso para el moderno sistema TCMS (Sistema de control y monitorización de trenes).



Figura: [91]; Pupitre conductor AGV. Fuente: [Alstom]

5.2.6. DISEÑADO PARA GARANTIZAR LA EFICIENCIA AMBIENTAL Y ECONÓMICA

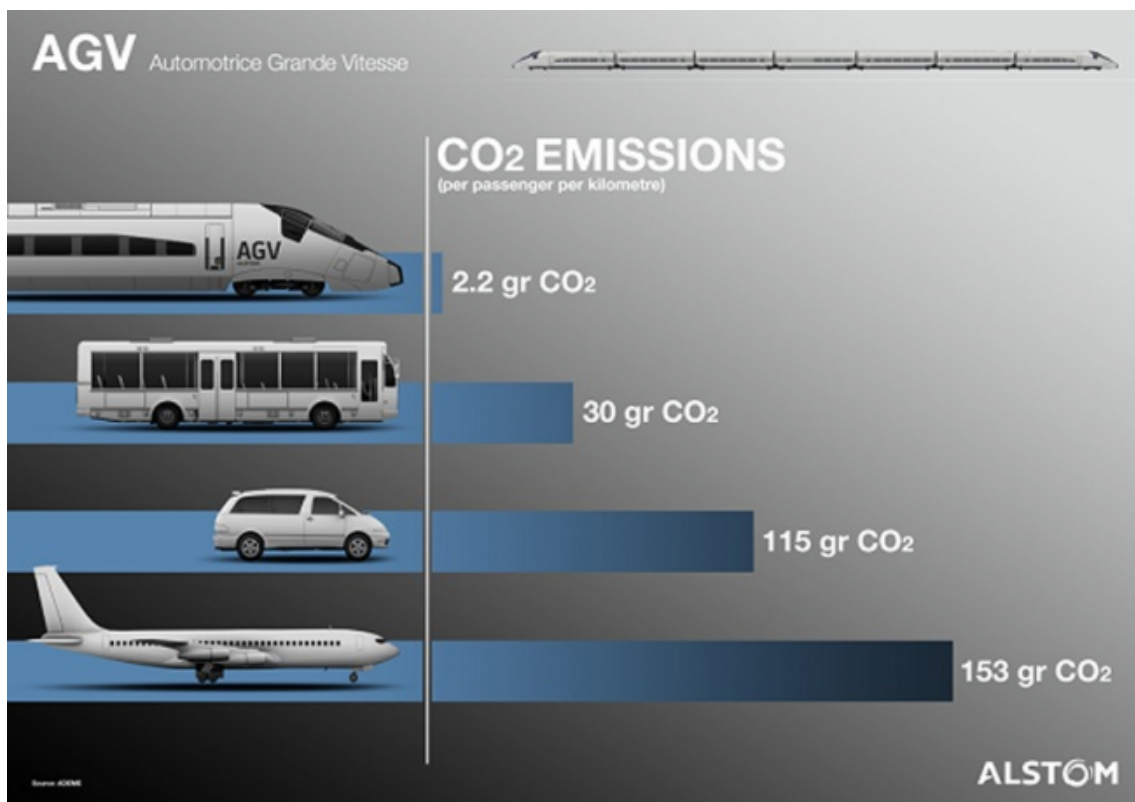


Figura: [92]; Emisiones CO₂. Fuente: [Alstom].

Emisiones de CO₂ en aviones y trenes calculado en base a una tasa de ocupación media para un TGV alimentado con electricidad cuya producción genera menos de 250 gr de CO₂ por KWh.

El AGV ha sido diseñado para satisfacer los desafíos ambientales y económicos, actuales y futuros. El AGV se caracteriza por un menor consumo de energía y, por lo tanto, por un menor nivel de CO₂, gastos de mantenimiento reducidos, reducción del ruido externo y reciclabilidad al finalizar su ciclo de vida.

5.2.6.1. MEJORAS EN LOS COSTES DEL CICLO DE VIDA

El AGV ofrece un menor coste del ciclo de vida. Los operadores pueden gozar de los siguientes beneficios: Ahorro del 15% en el consumo de energía, comparado con la competencia, gracias a: la arquitectura articulada del tren (menos bogies, menos resistencia aerodinámica), a la eficiencia mejorada de los motores magnéticos permanentes, al diseño aerodinámico optimizado, y al peso total del tren, 70 toneladas más ligero que el de los competidores para un AGV de 200 m. de longitud. Reutilización de energía: gracias a la optimización de los frenos electrodinámicos regenerativos del AGV, en los cuales la energía vuelve con prioridad a la red de suministro eléctrico durante las fases de frenado y parada. Ahorro de mantenimiento en un 15 %: especialmente debido a la menor cantidad de bogies, a los motores de imanes permanentes, cerrados y auto-ventilados y a los estudios de mantenimiento llevados a cabo en paralelo al diseño del tren.

5.2.6.2. RESPETO POR EL MEDIO AMBIENTE

Los trenes constituyen una forma de transporte que protege el medio ambiente. El AGV trasciende esta cualidad. Su consumo de energía, reducido en un 15%, permite ahorrar 650.000 kWh en un tren que recorre 500.000 km al año, con respecto a la competencia. Aunque el AGV no genera CO₂, el tipo de central eléctrica que genera la electricidad sí puede emitirlo.

En la actualidad, los operadores pueden optar por comprar electricidad "libredeCO₂" y eliminar, de esta manera, cualquier contribución de sus trenes eléctricos a la contaminación del medioambiente. El AGV ha sido diseñado pensando en su reciclabilidad al finalizar su ciclo vida, utilizando más de un 90% de materiales reciclables. Finalmente, gracias a su diseño aerodinámico y a su reducida cantidad de bogies, el AGV produce menos ruido externo en circulación, lo que disminuye su impacto ambiental.

5.2.6.3. DISEÑO PARA UN MANTENIMIENTO SIMPLE

Los subsistemas vitales del AGV han sido diseñados a fin de minimizar el tiempo y el coste de las operaciones periódicas de mantenimiento. Este rediseño se ha basado en la información recogida por equipos de mantenimiento y clientes del TGV, y en la integración de expertos de mantenimiento de Alstom con el equipo de diseño del AGV.

El AGV está equipado con la solución TrainTracer más actualizada. A través de la recolección de datos sobre el estado, la ubicación e incidentes del tren, y de la transmisión en tiempo real a los encargados de mantenimiento, se han mejorado las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo, y se ha incrementado la disponibilidad de la flota. Las capacidades electrónicas del AGV incluyen el diagnóstico remoto del tren, con el fin de mejorar la eficiencia de las operaciones de mantenimiento de los trenes.

Otro de los avances tecnológicos es el TCMS (Sistema de Control y Monitorización de Trenes), que cumple con los estándares europeos. Con una combinación de hardware y software modular, este sistema actúa como el cerebro y el sistema nervioso del AGV. Está organizado en tres subdivisiones independientes que se pueden modificar, probar u homologar por separado.

5.2.7. INTEROPERABILIDAD DESDE EL COMIENZO

5.2.7.1. MEJORANDO LA SEÑALIZACIÓN

El AGV es el primer tren de muy alta velocidad que ha sido diseñado teniendo en cuenta la interoperabilidad, y cumpliendo con las especificaciones técnicas de interoperabilidad de la UE: El armario de señalización puede albergar un ETCS (Sistema Europeo de control de trenes) interoperable y un equipo de señalización de control de velocidad en trenes nacionales para operaciones en cualquier corredor internacional de alta velocidad en Europa. El AGV puede operar con cualquiera de sus cuatro tensiones eléctricas (25kv - 15kv - 1,5kv - 3kv) o con una combinación de ellas. El diseño y el equipamiento del pupitre de conducción cumplen con los estándares internacionales de interoperabilidad, y han sido diseñados teniendo en cuenta las recomendaciones EUDD (European Unified Driver Desk).

5.2.7.2. ERTMS, UNIFICANDO EL FERROCARRIL EUROPEO

El nuevo sistema europeo de gestión de tráfico ferroviario común de la UE (ERTMS) permitirá a todo el tráfico ferroviario fluir a través de Europa, liberado de las diferentes tecnologías de señalización que se utilizaban anteriormente. El tráfico ferroviario se volverá más veloz, seguro y rentable. Como fabricante e integrador de sistemas, Alstom ha contribuido, en gran medida, al desarrollo del ERTMS desde sus inicios. En la actualidad, las soluciones ERTMS embarcadas y en vía funcionan en varios países europeos, permitiendo una operación ferroviaria sin interrupciones a través de las fronteras a velocidades superiores a los 300 km/h, con total seguridad. Alstom es el líder del despliegue operativo de ERTMS con más de 1200 trenes equipados y cerca de 20 millones de kilómetros recorridos en servicio comercial.

5.2.7.3. EL PANTÓGRAFO

Los pantógrafos pueden tener arcos de distintos anchos (1450 mm, 1600 mm ó 1950 mm) y de materiales diferentes (carbón puro o una combinación de carbón y cobre), adaptados a las distintas rutas del AGV. El pantógrafo del AGV está equipado con un sistema electrónico de control en tiempo real, que asegura la presión constante de los arcos sobre la catenaria. Este pantógrafo se ha utilizado en el reciente récord mundial de velocidad a 574,8 km/h.

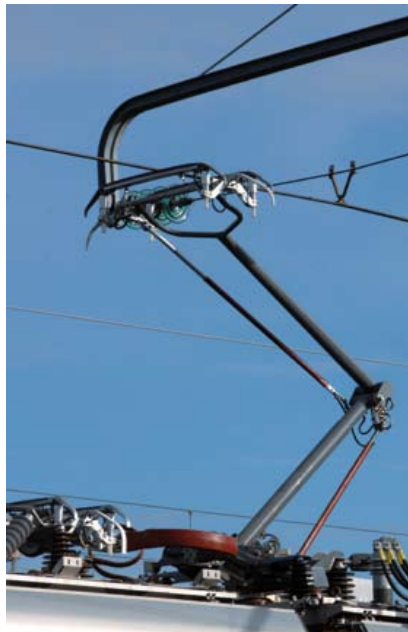


Figura: [93]; Pantógrafo. Fuente: [Alstom]

5.2.8. MEJORAR LAS PRESTACIONES Y LA FIABILIDAD

5.2.8.1. EL SISTEMA DE TRACCIÓN

El AGV funciona gracias a un nuevo sistema de tracción conformado por módulos de potencia Onix 6,5 kV IGBT, una barra de potencia de 3600 V y los innovadores motores de imanes permanentes (PMM) de Alstom. Estos motores son de peso reducido y mejoran la eficiencia energética del AGV. Los PMM son más ligeros y compactos que los anteriores motores asíncronos (cuentan con 1/3 menos de peso y volumen). Poseen una relación potencia-peso mejorada, de 1 kW/kg, circuitos de ventilación simplificados y, lo que es más importante, un menor consumo de energía. Esto representa un aporte significativo a la reducción de un consumo energético del AGV, un 15% menor que el de sus competidores en el mercado de muy alta velocidad.

La potencia específica del AGV también se puede adaptar según las necesidades: su enorme potencia específica básica (22,6 kW/tonelada) se puede reducir limitando la cantidad de unidades de tracción para aquellos operadores que no desean circular diariamente a 360 km/h.

La arquitectura del nuevo sistema de tracción Onix también aumenta la fiabilidad. Cada eje motor del AGV se alimenta con un ondulator de potencia. Un AGV de 11 coches puede ser equipado con 6 unidades de tracción independientes. Al permitirle al tren generar una potencia específica inigualable, de 22,6 kW/tonelada (23% más alta que la de su principal competidor), el fallo de un módulo de potencia resultará en la pérdida de sólo 1/6 del esfuerzo de tracción efectivo del tren, comparado con 1/4 para la mayoría de los otros trenes de alta velocidad. Esto ofrecerá al operador una capacidad de puntualidad superior, manteniendo un alto nivel de prestaciones en el caso excepcional en que se produjera un fallo en el módulo de potencia. Los motores de imanes permanentes son montados directamente sobre el bogie del AGV... y convertidor de tracción IGBT. El AGV utiliza unidades de tracción refrigeradas por agua con nuevos módulos, que son mucho más compactos y modulares que los empleados por las generaciones anteriores de trenes de muy alta velocidad.

Los semiconductores AGV son de última generación IGBT, probados y clasificados en 6,5 kV, lo que permite fijar la barra de potencia principal en 3,6 kV, y simplifica el esquema de tensión múltiple para facilitar una completa interoperabilidad. Estas reducciones de volumen y peso mejoran considerablemente el rendimiento y facilitan el mantenimiento. Imanes permanentes Módulo de potencia IGBT.

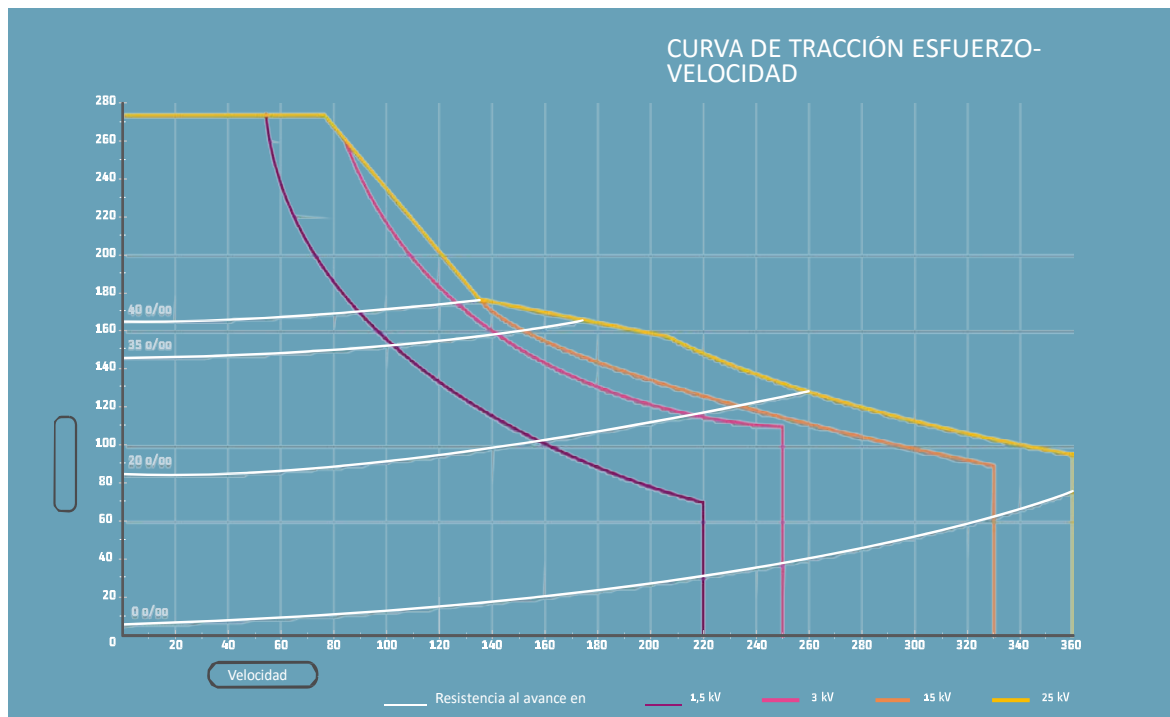


Figura: [94]; Curva Esfuerzo –Velocidad. Fuente: [Alstom]

5.2.8.2. BOGIES

El nuevo diseño de los bogies del AGV se basó en la tecnología de servicio probado del bogie TGV. La diferencia radica en los motores de imanes permanentes, montados directamente sobre el bogie AGV, lo que permite simplificar la transmisión a las ruedas, en comparación con el TGV. Al reducir y optimizar la cantidad de bogies, se lograron ganancias significativas en cuanto a prestaciones, fiabilidad y peso del tren. El bogie motorizado del AGV ha demostrado su estabilidad y seguridad intrínsecas a alta velocidad, abarcando más de 700 km en recorridos de prueba a más de 500 km/h durante la consecución del récord mundial de alta velocidad.



Figura: [95]; Bogie con motores de imanes permanentes. Fuente: [Alstom]

5.2.8.2.1. MOTORES DE IMANES PERMANENTES

La tecnología de motores de imanes permanentes utiliza imanes en el rotor de un motor síncrono, combinando los beneficios de las tecnologías del motor síncrono y asíncrono. Los motores de imanes permanentes del AGV son estancos y autoventilados, lo que permite reducir las emisiones de ruido, proteger las piezas interiores de la arena o el polvo, eliminar la necesidad de ventiladores de refrigeración externa, y reducir el mantenimiento. Estos motores disponen de flujo magnético de manera permanente, lo que permite una disponibilidad completa de frenado electrodinámico para garantizar mayor seguridad.

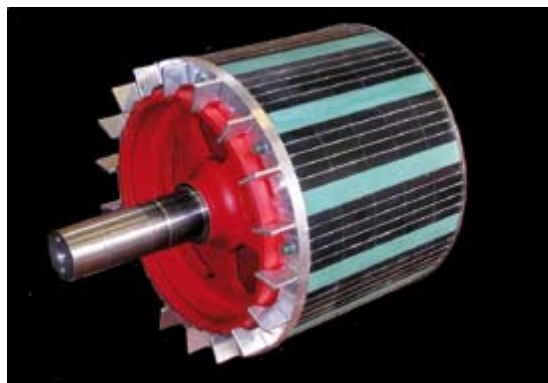


Figura: [96]; Imanes permanentes. Fuente: [Alstom]

5.2.8.2.2. CONVERTIDOR DE TRACCIÓN IGBT

El AGV utiliza unidades de tracción refrigeradas por agua con nuevos módulos, que son mucho más compactos y modulares que los empleados por las generaciones anteriores de trenes de muy alta velocidad. Los semiconductores AGV son de última generación IGBT, probados y clasificados en 6,5 kV, lo que permite fijar la barra de potencia principal en 3,6 kV, y simplifica el esquema de tensión múltiple para facilitar una completa interoperabilidad. Estas reducciones de volumen y peso mejoran considerablemente el rendimiento y facilitan el mantenimiento.

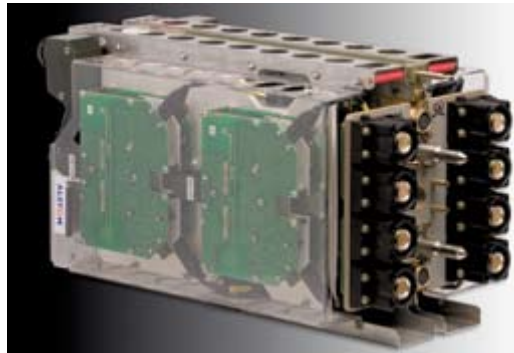


Figura: [97]; Convertidor de tracción IGBT. Fuente: [Alstom]

5.2.8.3. FRENADO

El frenado electrodinámico con recuperación de energía ofrece una serie de nuevas posibilidades destinadas a reducir el consumo de energía y los costes de mantenimiento. El freno regenerativo permite al AGV producir su propia electricidad, que puede alcanzar más de 9 MW. El AGV ha sido diseñado para utilizar, tanto como sea posible, su dispositivos de frenado electrodinámico, reostáticos o regenerativos, a fin de reducir la fricción generada por el desgaste de las piezas mecánicas. Asimismo, el sistema de frenado mecánico y reostático del AGV asegurará un frenado seguro en cualquier condición, aún en caso de rotura de una catenaria, provocada, por ejemplo, por un terremoto.

5.2.9. COMPARACIÓN CON OTROS TRENES DE ALTA VELOCIDAD

Comparación entre ICE-3, TGV y AGV

	Renfe Serie 103	TGV Duplex Dasye	AGV 11 cajas para NTV
Largo	200 m	200 m	~ 196 m
Masa	425 t	390 t	~ 401 t
Velocidad Máxima	350 km/h	320 km/h	300 km/h
Plazas	404	516	460
Potencia	8.800 kW	8.800 kW	~ 8.640 kW
Tipo de tracción	distribuida, 2 bogies por coche, 16 ejes motores	2 cabezas tractoras	Bogies compartidos, todos los ejes motores
Costo por plaza (€ de 12- 2006)	63.922 €	50.368 €	55.066 €
Fabricante	Siemens	Alstom	Alstom

5.2.10. HITOS DEL DESARROLLO DEL AGV

Desde la década de los setenta: Más de treinta años de experiencia en alta y muy alta velocidad

Junio de 2004: lanzamiento del programa prototipo de AGV

Noviembre de 2005: Modelo a escala del diseño conceptual presentado en la exhibición eurailspeed, Milán

Febrero 2007: Primer coche de AGV construido

3 de abril de 2007: TGV duplex con componentes de AGV establecen un nuevo récord mundial de velocidad ferroviario de 574,8 km/h

Diciembre 2007: Primer prototipo de AGV de 7 coches utilizado para la prueba

17 de enero de 2008: Alstom y NTV anuncian el primer contrato de AGV

5 de febrero de 2008: Presentación oficial del AGV a la prensa

Abril/septiembre. 2008: Prueba del AGV a velocidad media

(160-200 km) en Velim, República Checa

Fines de 2008: Prueba del AGV a muy alta velocidad (más de 360 km/h) en Francia

2009: Prueba del AGV bajo diferentes tensiones en velim (República Checa).

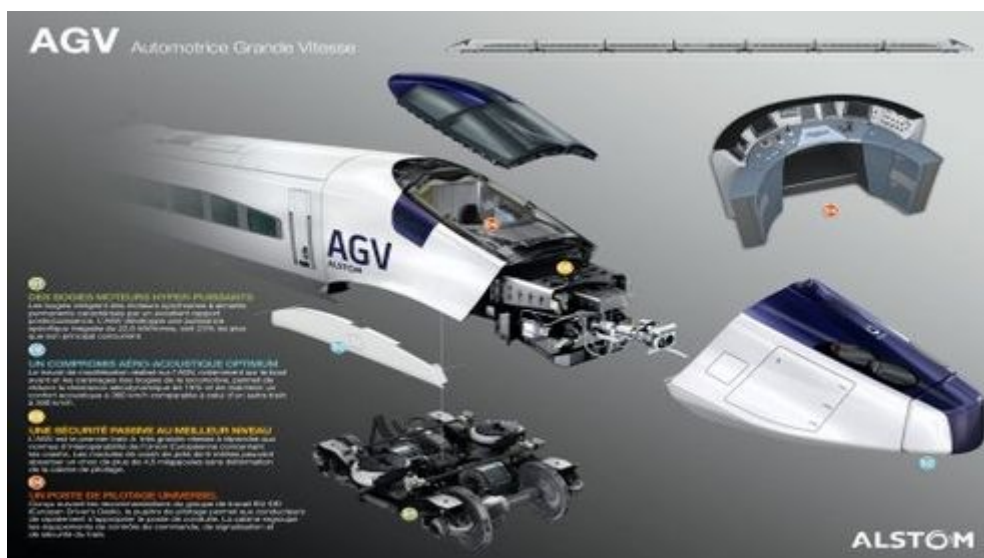


Figura: [98]; AGV. Fuente: [Alstom]

6. EL FUTURO (CONCLUSIÓN)

Como conclusión del proyecto y teniendo en cuenta el consumo de energía responsable como factor clave en el área del transporte, el tren de muy alta velocidad se presenta como un serio aspirante para alcanzar el liderazgo en la competición entre el ferrocarril, la carretera y el transporte aéreo, en distancias que se extienden desde 100 a 1000 km.

El sistema ferroviario de muy alta velocidad respetuoso con el medio ambiente, ofrece claras ventajas económicas y medioambientales en comparación con los medios de transporte que utilizan combustibles fósiles. Igualmente, garantiza una mayor seguridad y protección así como una gran flexibilidad operacional: una flota de alta velocidad se puede configurar y reconfigurar con facilidad sobre la base de la imagen de su operador, tanto si ha sido adquirida para suministrar un nuevo servicio ferroviario como para complementar o competir con otros sistemas ferroviarios o aéreos. Importantes avances tecnológicos en el sistema ferroviario están contribuyendo a la creación de nuevas perspectivas de negocio. A medida que se presenten nuevas oportunidades nacionales e internacionales, estos avances permitirán definir el rumbo de su empresa en esta nueva generación de trenes de alta velocidad, mayores expectativas y rentabilidades potencialmente más altas.

6.1. FUTUROS TGV

SNCF y Alstom están investigando nuevas tecnologías que podrían ser usadas para el transporte de alta velocidad en Francia. El desarrollo de los trenes TGV está buscando el modo de implantar los **Automotrice à grande vitesse (AGV)**, unidades de alta velocidad autopropulsadas. El diseño incluye coches de tracción distribuida, los motores se encuentran debajo de cada remolque. Las investigaciones están orientándose hacia la producción de trenes al mismo coste que los TGV existentes, con los mismos estándares de seguridad. Pero los AGV de misma longitud que los TGV podrían tener una capacidad de 450 asientos y la velocidad sería de 350 km/h.

En pocas palabras, la idea que está siendo considerada para incrementar la capacidad de los TGV en un 10% pasa por reemplazar los coches de cabeza y cola por coches con capacidad para transportar pasajeros, al estilo del ICE-3 de la Deutsche Bahn. Todos los remolques tendrían bogies motorizados debajo del coche como sucede actualmente con el primer y último coche. Además la pérdida de potencia es menor.

Otra área que está siendo investigada es la levitación magnética. Esta tecnología requiere un coste de implantación de la tecnología maglev muy alto. Además, debería construirse una nueva red entera, ya que los trenes maglev requieren vías diseñadas específicamente para su uso. El nuevo sistema sólo llegaría, previsiblemente, hasta las afueras de las ciudades.

6.2. LEVITACIÓN MAGNETICA



Figura: [99] JR–Maglev MLX01 en Japón (581 km/h).Fuente: [Viral Realm.com]

Desde 1970 se habla de que la próxima revolución en los trenes serían los de levitación magnética. Pero hasta hoy no era nada más que eso: el tren del futuro. Pero desde las campanadas de medianoche del 31 de diciembre de 2002 -el nuevo año-, hora de Shanghai, ha dejado de ser el tren del futuro para ser el tren del presente.

El tren Maglev levita sobre un motor magnético. Podemos decir que el tren es un gran imán. Debajo de él, en los "raíles", va un motor lineal que hace que un flujo magnético vaya hacia delante. Ese flujo magnético empuja al tren, lo levanta unos mm y luego lo hace avanzar. A diferencia de los trenes convencionales, el motor no va en el tren, sino en los "raíles". Esto aporta ventajas:

- Menos peso (el motor no va en el tren), menos ruido (el motor no va en el tren ni hay ruedas que rocen con el suelo; sólo hay un silencioso campo magnético).
- Al no haber rozamiento, el consumo de energía es menor. Por ejemplo, a 300 km/h, el tren de alta velocidad ICE consume 51 Wh por asiento. El Transrapid (Maglev de Shanghai) consume 34 Wh/asiento.
- Como los motores están en las vías, pueden hacerse más o menos potentes de acuerdo con la pendiente. El tren convencional no puede hacerlo, pues el motor lo lleva él y siempre es el mismo. Por eso el tren de alta velocidad (TAV) no puede subir pendientes de más del 4% y el *Transrapid* puede subir hasta el 10%. Y esto no es trivial.

Uno de los costos mayores de un TAV es la vía, ya que ha de ser muy recta y tener muy poca pendiente, lo que en muchos casos implica hacer enormes túneles o grandes viaductos.

- El que el motor esté en el suelo presenta la enorme ventaja de que el tren disminuye su peso, con lo que su inercia es menor. De hecho arranca y para en mucho menos tiempo que un tren convencional TAV.
- Descarrilamiento. Cuando uno monta en un tren que va a esas enormes velocidades, siempre piensa en qué pasará si descarrila. En el Maglev el descarrilamiento es casi imposible, obligado por la forma en la que van los electroimanes y los motores lineales.
- El ruido es poco puesto que no hay rozamiento con el raíl. Pero a alta velocidad lo que importa es el ruido aerodinámico. El menor peso y las menores servidumbres, al no tener que llevar el motor encima, permiten una mejor aerodinámica.

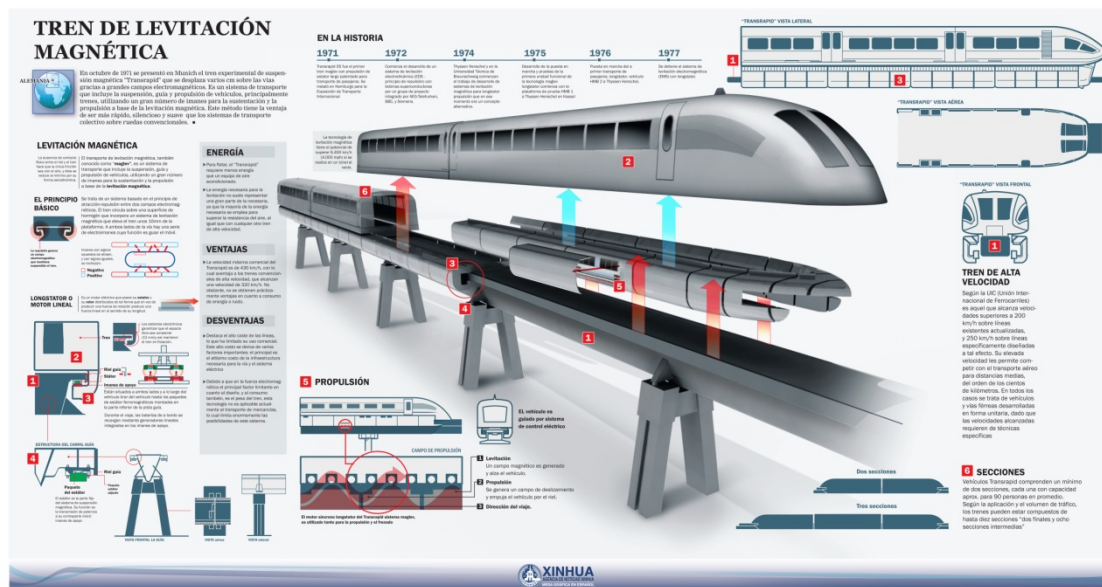


Figura: [100]; Tren de levitación magnética: [Skyscrapercity.com]

Ya para 1994 otros países habían logrado desarrollar sus propios ferrocarriles Maglev, entre ellos Estados Unidos, China, Francia, Italia, España y Corea del Sur. En la actualidad, sólo la ciudad china de Shanghái mantiene una línea comercial "maglev" que une el centro de la ciudad con el aeropuerto. El maglev de Shanghái comunica el aeropuerto internacional de Pudong, a unos 60 km de la ciudad, con la estación de Metro de Longyanglu, en las afueras de Shanghái, en sólo 8 minutos.

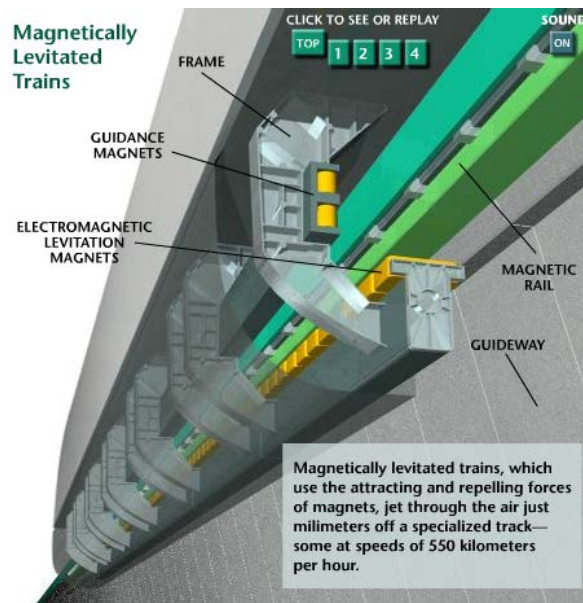


Figura: [101]; Tren de levitación magnética: [dailykos.com]

Cuando aún se asiste a la llegada de los trenes de alta velocidad convencionales a las estaciones europeas, en Japón ya les ha surgido un inconveniente. Distintos estudios demuestran que la adherencia de las ruedas de acero sobre los raíles disminuye notablemente a velocidades superiores a los 350 km/h. La seguridad impone un límite que hay que salvar. La esperanza está puesta en una tecnología que permita que el tren levite pero, eso sí, a una velocidad que podría alcanzar los 500 km/h. Son los trenes de levitación magnética o MagLev. Con la velocidad surge otro inconveniente: la energía necesaria para vencer la resistencia aerodinámica aumenta con el cubo de la velocidad.



Figura: [102]; Tren de levitación magnética: [Skyscrapercity.com]

La tecnología japonesa del tren de levitación se basa en una serie de imanes en forma de «U» invertida colocados en el borde del vagón y contrapuestos a los que van en la parte inferior del raíl, sobre los que reposa el vehículo hasta que son activados. Entonces la repulsión entre los imanes lo levanta, y un motor facilita la propulsión. La otra posibilidad tecnológicamente viable, en la que trabajan los alemanes, es el sistema electromagnético de atracción. En su tren, el Transrapid, los electroimanes no son superconductores, sino corrientes. Son atraídos hacia arriba por los componentes ferromagnéticos de la parte interior de la estructura de la guía.

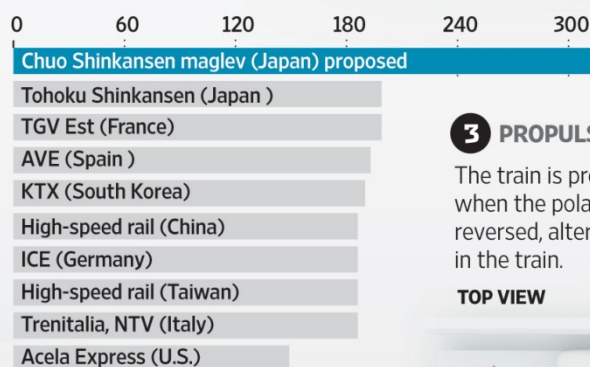
En Route

Japan's proposed high-speed train uses magnetic levitation.

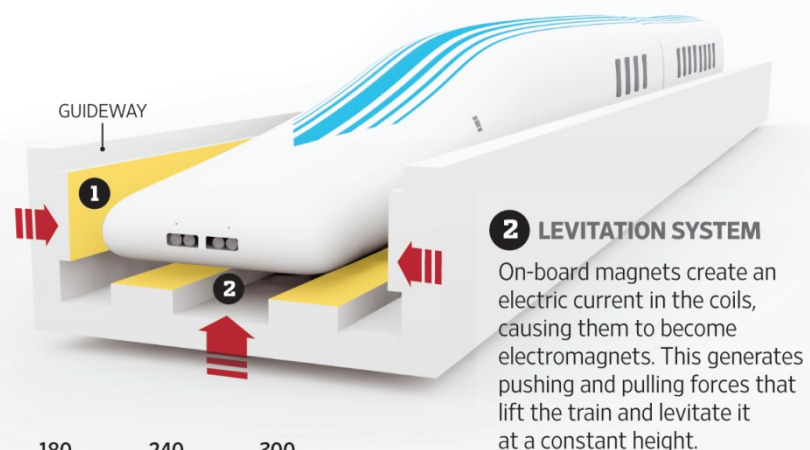
1 COILS

Coils are installed on either side of the guideway.

Selected intercity high-speed rail lines in miles per hour



Source: Northeast Maglev
Graphic by Alberto Cervantes/The Wall Street Journal



3 PROPULSION SYSTEM

The train is propelled by the pulling and pushing forces created when the polarity of magnets all along the guideway is rapidly reversed, alternately attracting and repelling the magnets in the train.

TOP VIEW

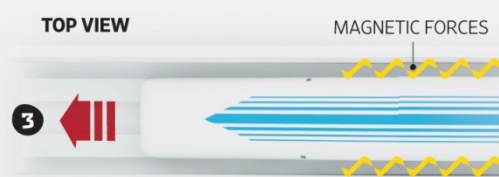
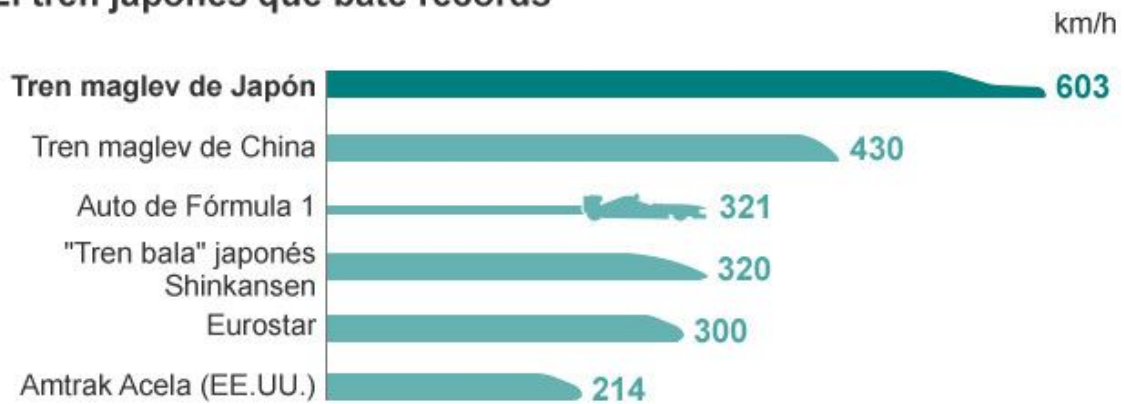


Figura: [103]; Tren de levitación magnética: [www.wsj.com]

El sistema de levitación magnética permite radios de curvas mucho menores y pendientes muy superiores a mayores velocidades. Ello se traduce también en unos costes mucho menores de la infraestructura necesaria, toda vez que no se precisa una línea catenaria. A todo esto hay que añadir que produce menor contaminación acústica. Los trenes magnéticos son los más rápidos del mundo, porque no son frenados por la fricción de los raíles, sino que se desplazan sobre ellos sin tocarlos.

El tren japonés que bate récords



Todas las velocidades mencionadas son velocidades de uso, menos la del tren maglev japonés, que es con la que se batió el récord mundial

Figura: [104]; Tren de levitación magnética: [fotolog.com.com]

6.2.1. PROYECTOS EN CURSO



Figura: [105]; Tren de levitación magnética Transrapid TR09. Fuente: [wikipedia.com]

El Tren de levitación magnética Transrapid TR09 es el noveno que se construye en Alemania. Diseñado para súper velocidad, sus aerodinámicas líneas se basan en el fuselaje de un Boeing 737. La velocidad máxima comercial del Transrapid es de 430 km/h.

Alemania y Japón han realizado proyectos experimentales, pero será el país del Sol Naciente el que primero inaugure una línea comercial en el 2005, durante la exposición universal de Aichi. Posteriormente está previsto construir una línea magnética entre Tokio y Osaka. En **Alemania**, que posee la técnica más desarrollada en materia de sistemas de levitación magnética, junto con **Japón**, prevé inversiones por 2.300 millones de euros por año para dotar al país de sus dos primeras líneas Maglev, entre Düsseldorf y Dortmund y entre Múnich y su aeropuerto. El proyecto desde el centro de Múnich hasta el aeropuerto costará 1.850 millones de euros (2.610 millones de dólares), y arrancará una vez se asegure la financiación. El tren "volará" a casi 500 km/h cuando esté construido, aunque por desgracia no hay fecha del posible lanzamiento de este revolucionario transporte.

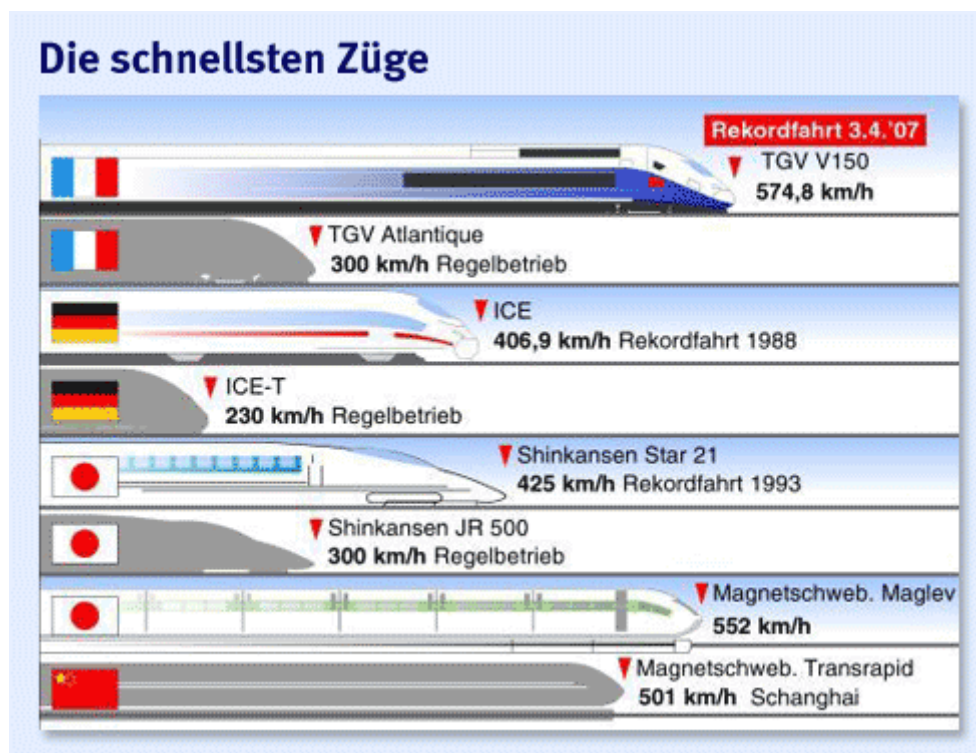


Figura: [106]; Comparativa. Fuente: [viajesferroviarios.blogspot.com]

Las autoridades de China afirman que ya no necesitan la ayuda de Alemania y pretenden seguir extendiendo el uso de estos trenes (el próximo proyecto prevé unir los 160 km que separan Shanghái de Hangzhou). El proyecto fue suspendido temporalmente tras las quejas de miles de vecinos de la zona, preocupados por el negativo impacto ambiental y sobre la salud que podrían causar sus radiaciones magnéticas, además de hacer sus barrios poco populares, lo que devaluaría seriamente el precio de sus viviendas. La tecnología se creó en Alemania y fue cedida a China por el consorcio Transrapid, formado por Siemens y Thyssen Krupp, y estas empresas recomendaban que existiese una zona arbolada de 300 m a cada lado de la vía. El borrador inicial del proyecto de Shanghái la redujo a 150 m, que acabaron siendo 22,5 m en los planes definitivos, lo cual es una diferencia considerable sobre los planes iniciales, sin que se conozcan todavía bien los posibles efectos negativos de esta tecnología sobre la salud de las personas.

Mientras que en Estados Unidos y Países Bajos también se invierte en esta nueva tecnología, en Suiza el proyecto denominado Swissmetro no va por buen camino. Corea del Sur ha desarrollado la tecnología de levitación magnética para construir su propio "tren bala". Su proyecto es unir la capital Seúl con Pusan, en el sureste peninsular.

El Gobierno de Qatar ha expresado su interés por comprar el tren de levitación magnética alemán Transrapid. El objetivo será construir un primer tramo de 160 km que vaya desde Qatar a Bahréin, una unión que debería realizarse mediante un nuevo puente. En el caso de que este proyecto prosperase, las autoridades de Qatar aseguran que se estudiaría un segundo tramo de 800 km hacia los Emiratos Árabes.

El 4 de junio de 2007, en los medios de comunicación de España se publicó que la Comunidad de Madrid pretende realizar un par de líneas de tren de levitación magnética, conocidas como tren bala, que unan el aeropuerto de Barajas con la zona de Campamento, al oeste de la ciudad, así como otra línea que recorra el corredor del Henares, desde Alcalá hasta Chamartín en pocos minutos.

Los trenes magnéticos deberán comenzar a sustituir a los convencionales dentro de 20 o 30 años, de acuerdo a las previsiones de los especialistas, y serían tan competitivos que podrían ser elegidos en vez de un vuelo en avión de una trayectoria menor a los 800 km.

ANEXOS

7. ANEXO 1. AMORTIGUADOR BI-MODAL

DESCRIPCIÓN GENERAL.

El principio del amortiguador bi-modal es adaptar la fuerza de amortiguación en las curvas gracias a un modo on/off que permite reducir la fuerza lateral de la rueda con el carril y preserva la estructura del tren.

Es una alternativa real a los amortiguadores controlados electrónicamente: manteniendo todo los beneficios de un amortiguador clásico en términos de coste, fiabilidad y vida útil gracias a su 100% de diseño mecánico, el modo bi reduce el desgaste entre el raíl y la rueda aportando un considerable beneficio al operador.

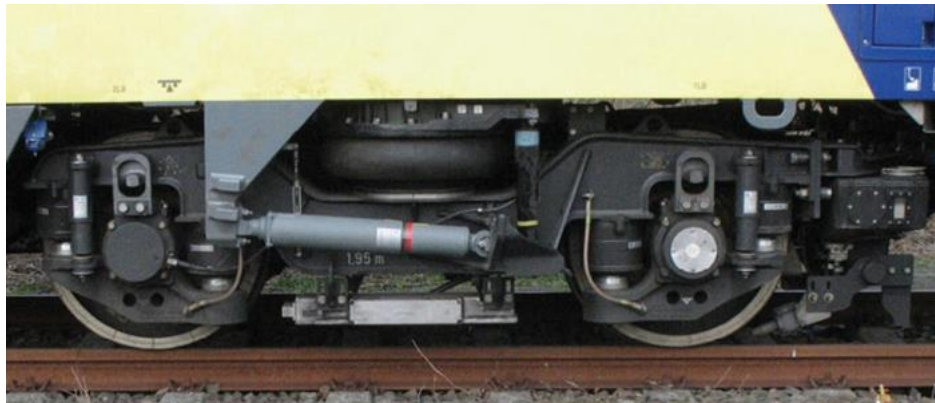
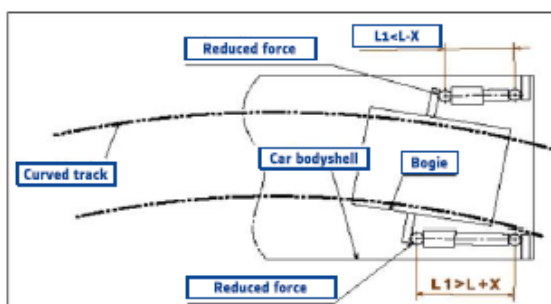
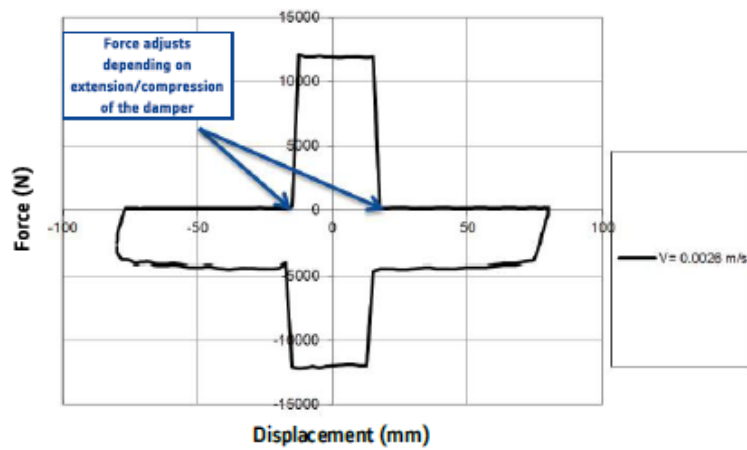
Especialmente eficiente para trenes operando en las líneas sinuosas, el amortiguador bi-modal reduce el desgaste de la rueda y realizar un seguimiento mientras que su 100% diseño mecánico permite una integración plug-and-play y ofrece un máximo histórico.

Gracias a una patente específica, la función de activación es 100% mecánica e integrada dentro del amortiguador bi-modal. No hay necesidad de dispositivo externo, fuente de alimentación o adaptación bogie. La función de activación se basa en la curva de detección del radio por lo que es muy fiable sin ningún tipo de mantenimiento específico o calibración durante la operación del tren. Además, el amortiguador bi-modal funciona en cualquier posición, incluso horizontal, lo que garantiza una integración sin problemas para el fabricante de trenes.

Los amortiguadores están hechos a mano para garantizar la calidad, fiabilidad y flexibilidad de producción. También permite un diseño personalizado para satisfacer unos requisitos específicos: alta fuerza de amortiguación a muy baja velocidad, acondicionamiento para el invierno...

El bi-modal ofrece aún más flexibilidad en cuanto a la función de activación puede configurarse fácilmente para las necesidades del cliente de, como la carrera de extensión.

Como todos los amortiguadores, el amortiguador bi-modal ofrece un alto tiempo de vida antes de realizarle el mantenimiento gracias a su diseño mecánico: más de 3,5 MKM.

**Force-Displacement diagram**

"X" adjusts depending on the curve to reduce damping force



For more information
please contact Alstom Transport:

Figura: [107]; Amortiguador Bi-modal: [Alstom]

8. ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN DE PLATAFORMAS EXISTENTES PARA A ALTA VELOCIDAD MEDIANTE ENSAYO DE CARGA VERTICAL CON PLACA DINÁMICA

Jesús J. Ruiz Casamayor, Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, Madrid, España,
jjruizc@adif.es

Carina Vaz Monteiro, Iberinsa, Madrid, España,
carinaalexandra.barros.vazmonteiro@acciona.es

Gonzalo Delgado Torres, Intecsa-Inarsa, Madrid, España,
gonzalo. Delgadodetorres @snclavalin.com

Montserrat Estaca Gómez, Intecsa-Inarsa, Madrid, España,
montserrat.estaca@snclavalin.com

RESUMEN

En España, algunas de las nuevas líneas de alta velocidad previstas se proyectan sobre plataformas en servicio, ocupando líneas convencionales de ancho 1.668 mm, que se tienen que adaptar para la circulación de material ferroviario de alta velocidad. Por ello, se debe investigar geotécnicamente la plataforma existente para comprobar su validez como plataforma para la circulación de trenes de alta velocidad.

En esta comunicación se presentan los reconocimientos geotécnicos in situ llevados a cabo para los proyectos de construcción “Plataforma del N.A.F. de Levante. Tramo: Albacete – Variante de Alpera” y de “Plataforma para el incremento de capacidad en las L.A.V. entre Madrid (Atocha) y Torrejón de Velasco. Tramo: c/ Pedro Bosch (Madrid) – Getafe”, sus resultados, análisis y conclusiones. Se señala y se da mayor relevancia al ensayo de carga vertical con placa dinámica (UNE 103807-2) utilizado para medir la deformabilidad de las plataformas ferroviarias, pues todavía el ensayo de carga de placa estática es el de referencia en la caracterización de éstas.

8.1. INTRODUCCIÓN

En algunos Estudios Informativos redactados por la antigua Dirección General de Ferrocarriles del Ministerio de Fomento, ahora Dirección General de Infraestructuras Ferroviarias, se proyecta, para el trazado por donde circularán trenes de alta velocidad, el aprovechamiento de plataformas ferroviarias existentes.

En unas ocasiones es consecuencia de aprovechar obras ferroviarias de mejora de trazado, de reciente construcción, aptas para trenes de alta velocidad, como es el caso del Tramo: Albacete – Variante de Alpera (Estudio Informativo del Proyecto de la línea de alta velocidad Madrid – Castilla La Mancha – Comunidad Valenciana – Región de Murcia. Tramo: Madrid –

Albacete/Valencia. Subtramo: Albacete – Játiva), y en otras, se aprovechan plataformas de vías existentes en zonas urbanas para no incrementar la ocupación de suelo para una nueva infraestructura, caso del Tramo: C/ Pedro Bosch (Madrid) – Getafe (Estudio Informativo del Proyecto de implantación de una doble vía entre la Estación de Atocha y Torrejón de Velasco para la línea de alta velocidad Madrid – Castilla La Mancha – Comunidad Valenciana – Región de Murcia). La plataforma que se requiere para la circulación de trenes de alta velocidad, según las Instrucciones y Recomendaciones para Redacción de Proyectos de Plataforma (IGP) de ADIF, consta de dos capas de asiento, capa de forma y subbalasto, sobre las que se tiende la superestructura ferroviaria. Los espesores requeridos para nuevas plataformas ferroviarias son: 60 cm, para capa de forma, y 35 cm, para capa de subbalasto.

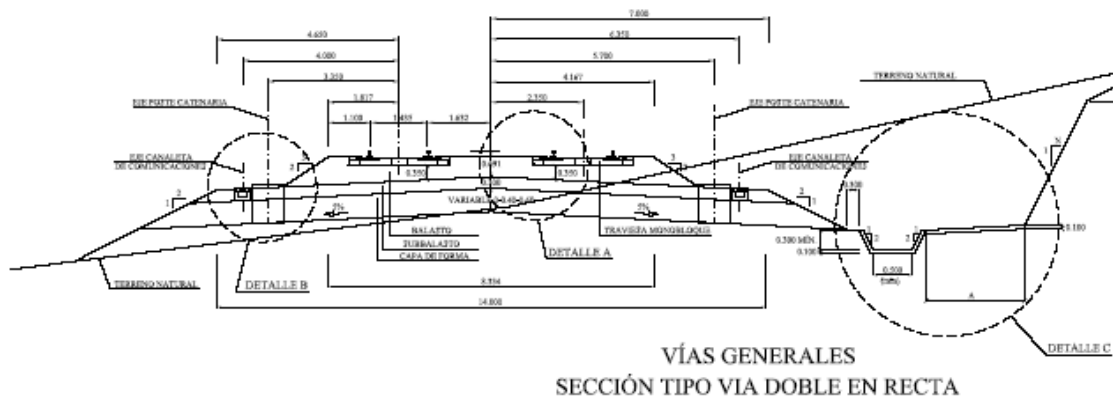


Figura 1. Sección tipo plataforma ferroviaria para alta velocidad.

Las funciones principales de estas capas son las siguientes:

- Capa de forma: capa superior de remate y coronación de la plataforma que se dispone con el fin de mejorar la capacidad portante de la misma, en terraplén o desmonte.
- Subbalasto: tiene las funciones de proteger la plataforma contra la erosión y la helada, evacuar las aguas pluviales, mejorar el reparto de cargas sobre la plataforma y evitar la contaminación del balasto por los suelos de la plataforma.

8.2. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE PLATAFORMAS FERROVIARIAS

Para determinar los espesores de las capas de asiento en plataformas ferroviarias existentes se realizan calicatas en la banqueta, en el eje de la vía o en el entreeje de la vía. De esta forma se puede comprobar su estratigrafía y compactación si se toman muestras para realizar Ensayos Granulométricos, Proctor Modificado, CBR, determinación de densidad y humedad *in situ* ya sea por el Método de la Arena o Nuclear, al menos. Para conocer la capacidad portante de la plataforma se realizan Ensayos de Placa de Carga Estática (NLT-357). A la hora de realizar los trabajos citados anteriormente, sobre plataformas ferroviarias existentes en servicio, se plantea el problema, en la ejecución del Ensayo de Placa de Carga Estática, de las distorsiones que se producen en el mismo, al tener que mantenerse el paso de trenes. El tiempo que se suele disponer para realizar los trabajos es el que se dedica a las bandas de mantenimiento que ADIF programa en horario nocturno, con una duración comprendida entre 4 y 5 horas. Este tiempo es insuficiente para realizar el Ensayo de Placa de Carga Estática, si se realiza en el eje de la vía o el entreeje de vías, ya que hay que llevar el material necesario para el ensayo (camión o vagón) hasta el lugar de realización del ensayo, además de otras actividades previas. Por esta razón, falta de tiempo disponible, se plantea la sustitución del Ensayo de Placa de Carga Estática (NLT-357) por el Ensayo de Carga Vertical de Suelos mediante Placa Dinámica (UNE 103807-2).

8.3. ENSAYO DE CARGA VERTICAL DE SUELOS MEDIANTE PLACA DINÁMICA

El ensayo dinámico de carga con placa es un procedimiento de ensayo en el cual el suelo recibe un impacto de fuerza F_s transmitida mediante la caída de un peso desde una altura dada, sobre una placa de carga circular de radio $r = 150$ mm y de espesor suficiente para considerarla rígida. El dispositivo está calibrado para que esta fuerza sea tal que la tensión normal s bajo la placa de carga sea 0,1 MPa en el ensayo. El módulo de deformación dinámico E_{vd} es un indicador de la deformabilidad del suelo bajo el impacto de una carga vertical definida en el párrafo anterior con una duración t_s . En este caso, su valor se calcula en función del valor s del asiento de la placa de carga, en adelante llamado asiento, de acuerdo con la fórmula (1):

$$E_{vd} = \frac{1,5 \cdot r \cdot \sigma}{s}$$

La descripción del equipo con sus características y de la ejecución del ensayo se recoge en la norma UNE 103807-2.

Figura 2. Equipo necesario para la realización del ensayo.

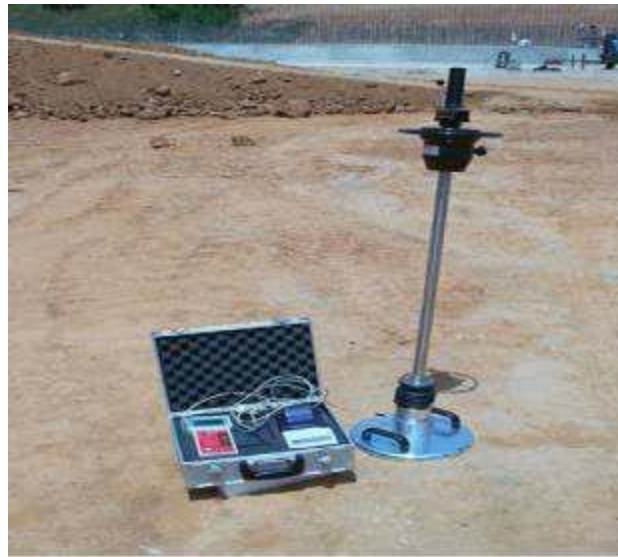


Figura: [2] Equipo de ensayo.

Esta norma tiene por objeto la determinación del denominado módulo de deformación vertical bajo carga dinámica de un suelo, Evd. El ensayo se puede aplicar en aquellos suelos y capas granulares cuyo contenido en partículas de tamaño superior a sesenta y tres milímetros (63 mm) sea inferior al quince por ciento (15%) y cuyo contenido en partículas finas de tamaño inferior a sesenta micras (0,06 mm) sea inferior al cuarenta por ciento (40%). El ensayo también se puede aplicar en el caso de que no se cumpla la segunda condición si la resistencia al corte sin drenaje del suelo es superior a 50 kN/m². Además, el rango de medida del módulo de deformación está comprendido entre 15 MPa y 70 MPa.

8.4. TRAMO: ALBACETE – VARIANTE DE ALPERA

Se trata de un tramo de unos 40 kilómetros de longitud, donde se encuentran las Variantes de Chinchilla y Villar de Chinchilla, construidas a finales de los años 90, por la antigua Dirección General de Ferrocarriles del Ministerio de Fomento, para adaptar el tramo a velocidades máximas de 200 km/h. El total del tramo es objeto de proyecto para incrementar la velocidad máxima a 250 km/h, por parte de ADIF, contratando a la empresa consultora Intecsa Inarsa, S.A. En las citadas variantes se realiza el análisis de la plataforma para comprobar su validez para el paso de trenes de alta velocidad.

En el resto del tramo, plataforma más antigua, se proyectan las capas de asiento completas. La sección tipo existente, en estas variantes, tiene como capas de asiento un espesor variable entre 40 cm y 60 cm de capa de forma, y 25 cm de subbalasto. La banda de mantenimiento disponible era de 4 a 5 horas, permitiendo el tráfico en ambos sentido por una de las vías. Con el fin de evaluar la idoneidad de las plataformas en servicio de las Variantes de Chinchilla y Villar de Chinchilla (Tramo Albacete – Vte. De Alpera) para albergar la línea de Alta Velocidad,

se llevaron a cabo unos trabajos de investigación de la plataforma mediante el ensayo de carga vertical de suelos mediante placa dinámica.

8.4.1. ENSAYOS DE CONTRASTE SOBRE LA PLATAFORMA ABANDONADA

Para el estudio de la plataforma ferroviaria en servicio, se llevaron a cabo previamente unos ensayos de placa estática y placa dinámica en una plataforma abandonada situada en las proximidades, con el fin de verificar la fiabilidad de los ensayos. Al hacer la excavación hasta la capa que correspondería al subbalasto, se encontró que el material que había era la “machaca” con la que antiguamente se construían las plataformas ferroviarias. Este material era mucho más grueso que la zahorra que forma el subbalasto. En la Tabla 1 se recogen los resultados obtenidos.

Tabla 1: Resultados de los ensayos realizados sobre la plataforma abandonada

PK	Capa	Ensayos in situ		Ensayos de laboratorio		
		Placa estática	Placa dinámica	Granulometría		%
		E_{v2}	E_{v2}	% Finos	% Arena	Humedad
111+600	Machaca	540	111,4	12	17	1,08
113+800	Machaca	214	107,7	59	33	7,7
115+200	Machaca	201	82,4	5	11	2,83
119+300	Machaca	193	100,3	12	37	0,44

En los cuatro puntos donde se realizaron el par de ensayos (carga con placa estática y dinámica) se obtuvieron resultados satisfactorios, en los que la dispersión de los resultados de los dos tipos de ensayos fue menor del 25 %. Sólo en uno de los casos, en el que además el material fue difícil de identificar, el valor obtenido a partir de la placa dinámica se alejaba del valor que se obtuvo en el ensayo de carga con placa estática, por lo que sus resultados fueron desestimados. El hecho de que el material que componía las plataformas abandonadas fuera muy diferente del material con el que se construyeron las plataformas en variante que actualmente están en servicio, hizo que no se pudiera utilizar la correlación obtenida en la plataforma abandonada en los resultados de los ensayos en la plataforma en servicio. Pese a ello estos ensayos previos fueron muy útiles para verificar el buen funcionamiento del ensayo de carga con placa estática, y sobre todo para comprobar que la correlación que se propone en la norma es coherente con los resultados, según puede observarse en la Figura 3:

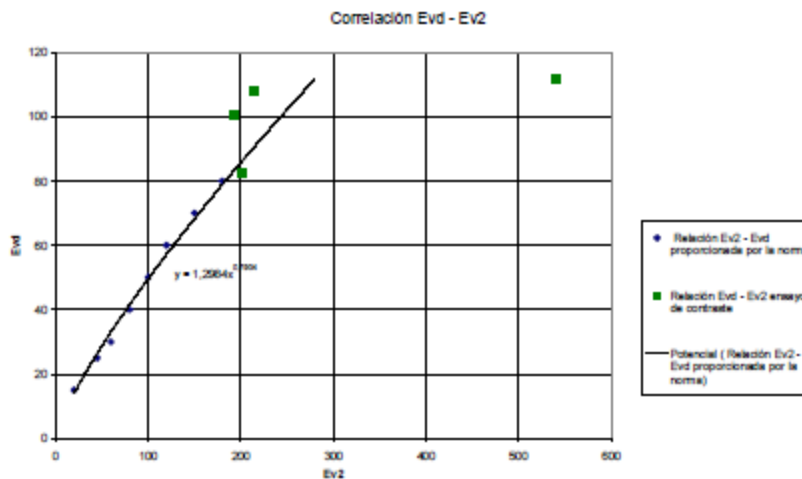


Figura 3: Relación de los resultados de los ensayos de placa estática y dinámica realizados sobre la plataforma abandonada.

Por ello, y a la vista de estos resultados, se pudo concluir que la correlación de la norma era válida y pudo emplearse su expresión:

$$Ev_2 = 0,7187 \cdot Ev_d$$

8.4.2. ENSAYOS SOBRE LA PLATAFORMA EN SERVICIO

Los trabajos necesarios para realizar los ensayos de carga vertical mediante placa dinámica tuvieron que ser nocturnos y con una duración menor de 5 horas, ya que era necesario cortar el tráfico en una de las vías de la línea en servicio. Además de estos ensayos se determinó la densidad por el método de la arena y por el método nuclear. También se tomaron muestras de subbalasto y capa de forma para que en laboratorio se pudiera determinar la granulometría y humedad de las mismas y se pudieran realizar ensayos de proctor modificado. También se midió el espesor de balasto y subbalasto existente en cada calicata. La posición de estos ensayos fue siempre entre los carriles. Para poder trabajar con el espacio necesario se movieron dos traviesas en sentido opuesto, de manera que se quedaba un “cajón” suficientemente amplio para realizar todos los ensayos. Las labores de extracción del subbalasto fueron llevadas a cabo manualmente ya que una pequeña retroexcavadora no hubiera podido acceder. Había que retirar balasto tanto en la parte interior de los carriles, como en la zona exterior a los mismos, es decir, en la cabeza de las traviesas, para que éstas quedaran liberadas de material y pudieran moverse a lo largo de los carriles. Era entonces cuando se realizaban la primera tanda de ensayos.

Primero se llevaba a cabo el ensayo de carga vertical con placa dinámica, el cual se procuraba hacer en un lado de la calicata abierta. La determinación de la densidad por el método de la arena se hacía en el otro lado para que los resultados no se vieran afectados por la acción de la placa. Entre estos puntos previamente se había medido la densidad y la humedad por el método nuclear.



Figura 4: Ejecución del ensayo de carga con placa dinámica sobre el subbalasto en plataforma en servicio.

Una vez realizados los tres ensayos la excavación continuaba hasta alcanzar la capa de forma, tomando una muestra de material correspondiente al subbalasto. En la capa de forma se realizaban los mismos ensayos pero en la posición contraria, es decir, que el ensayo de carga vertical con placa dinámica se hacía en el lado opuesto a donde se hizo sobre el subbalasto, y la determinación de la densidad por el método de la arena en el mismo lado donde se hizo el ensayo de carga vertical con placa dinámica en el subbalasto. Después de realizar la segunda tanda de ensayos se continuaba excavando para obtener la muestra de capa de forma. Los resultados de todos los ensayos que se llevaron a cabo tanto en la plataforma en servicio como en el laboratorio y los valores de E_{v2} obtenidos a partir de los ensayos in situ se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Tabla de los ensayos realizados sobre la plataforma en servicio

PK	Capa	Ensayos in situ						Ensayos en laboratorio			
		E_{vd} (MPa)	Ev2 (MPa)	Método nuclear		Método de la arena		Finos (%)	Humedad natural (%)	Proctor Modificado	
				Densidad (t/m ³)	Humedad (%)	Densidad (t/m ³)	Humedad (%)			Densidad máxima (t/m ³)	Humedad óptima (%)
108+540	Subbalasto	147,7	399,05	2,11	4,2	2,2	2,1	8	2,12	2,24	4
	Capa de forma	41,0	78,81	1,7	11,1	2,04	2,7	11	2,69	2,07	8,2
110+180	Subbalasto	188,02	541,55	2,05	3,4	2,2	1,8	9	1,7		
	Capa de forma	35,7	66,19	1,73	8,4	2,09	1,3	5	1,61		
114+260	Subbalasto	180,48	514,22			2,23	3,1	9	2,13		
	Capa de forma	89,88	212,87			2,05	2,3	12	2,3		
115+980	Subbalasto	101,81	249,237			2,24	1,5	7	1,46	2,26	4,9
	Capa de forma	155,17	424,75			2,11	7,7	13	7,68	2,15	5,7
131+050	Subbalasto	144,54	228,938	2,04	4,9	2,22	1,6	7	1,63	2,25	4,8
	Capa de forma	59,68	187	1,98	6,9	2,08	2,9	14	2,91	2,12	8,6
135+050	Subbalasto	95,2	388,28	2,03	5,3	2,23	1,9	6	1,52	2,29	5,5
	Capa de forma	81,13	126,8	1,72	16,1	2,19	2,2	6	2,21	2,17	5,9

8.4.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados de todos los ensayos realizados han sido analizados de forma independiente para el subbalasto y capa de forma:

8.4.3.1. SUBBALASTO

Es la capa de la plataforma que se sitúa por debajo del balasto. Está formada por zahorra natural y de machaqueo y el espesor observado en las calicatas no llegaba a los 30 cm, encontrándose en torno a los 25 cm. Los valores del módulo Ev2 que se obtuvieron a partir del ensayo de carga vertical mediante placa dinámica se reflejan en la Tabla 2. Todos los valores de Ev2 están por encima del valor exigido en el Pliego de Prescripciones Técnicas de ADIF (Ev2 = 120 MPa). De hecho la mayoría de los resultados doblan este valor. Por tanto podemos decir que el subbalasto tiene un comportamiento mecánico muy bueno.

En cuanto a la compactación, en todos los casos excepto en uno (p.k. 131+050 donde $r = 97\%$ P.M), la densidad presenta valores superiores al 98 % del proctor modificado en las medidas realizadas por el método de la arena. Las medidas de densidad que se obtuvieron por el método nuclear son inferiores a las obtenidas por el método de la arena, lo cual implica un defecto de contraste, una falta de representatividad para estas granulometrías; en cualquier caso no se han tomado en consideración. Los análisis de la granulometría revelan que este material se ajusta al huso granulométrico que define el Pliego de ADIF. Tan sólo una de las seis muestras tiene una granulometría ligeramente inferior a la estipulada. Los valores de humedad

obtenida en laboratorio se encuentran en todos los casos excepto uno en el lado seco de la humedad óptima de P.M., y a más de dos puntos de la humedad óptima en la mayoría de los casos.

8.4.3.2. CAPA DE FORMA

Los resultados de los módulos Evd medidos y de los módulos Ev2 deducidos se muestran en la Tabla 2. En cuanto a los valores de Ev2 que se obtuvieron a partir de los resultados de la placa dinámica, sólo dos de ellos son algo inferiores a 80 MPa, que es el valor mínimo que establece el pliego. El promedio de Ev2 es de 155 MPa, e incluso si no tenemos en cuenta el ensayo realizado en el p.k. 115+980 que tiene un valor excesivamente alto (424 MPa) y no es representativo, el promedio, que sería $Ev2 = 123 \text{ MPa}$, sigue siendo muy superior al mínimo exigido. La densidad medida por el método de la arena muestra que la capa de forma también tiene una compactación alta, con valores superiores en todos los casos al 98 % de proctor modificado, cuando el mínimo exigido por el PGP para esta capa es del 95 %. La densidad que se registró con el método nuclear también es más baja que la determinada por el método de la arena, y por las razones anteriores no ha sido considerada. La mayoría de las muestras presentan un contenido en finos mayor del 5 %, aunque en todos los casos es menor del 15 %, permitido en el pliego si los finos resultan no plásticos. En casi todos los puntos de estudio de la plataforma en servicio, la humedad natural de la capa de forma se encuentra por debajo de la humedad óptima, lo cual puede asociarse a la alta resistencia. Sin embargo, en los estudios que se han llevado a cabo en estos tramos, las conclusiones van en la línea de que la capa de forma ensayada prácticamente cumple las especificaciones del Pliego de ADIF.

8.5. CONCLUSIONES.

La primera conclusión que puede obtenerse es que gracias a la versatilidad y agilidad de ejecución de los ensayos de carga vertical con placa dinámica ha sido posible realizar unas medidas de resistencia de la plataforma ferroviaria existente. Además la calidad de estos resultados se ha considerado satisfactoria y compatible con los ensayos de referencia. Ello ha permitido, junto con los resultados del resto de los ensayos, poder extraer las siguientes conclusiones del estado del subbalasto y capa de forma de la plataforma en servicio. En cuanto a la capa de subbalasto se puede concluir que prácticamente cumple todos los requisitos que establece el Pliego de ADIF, sobretodo cumple sobradamente las condiciones de resistencia. El material que se encuentra por debajo del subbalasto cumple con las condiciones exigidas a la capa de forma. Tan sólo podría haber un problema ligado a la plasticidad cuando el contenido en finos se encuentra entre el 5 y el 15 %. No obstante su comportamiento tenso - deformacional es, en general, mucho más resistente que el exigido por el Pliego de ADIF. Creemos por tanto que el material existente como capa de forma, en condiciones normales de humedad, puede ser considerado como válido como capa de plataforma. Tras estas conclusiones, se proyectó mantener la plataforma actual, sin variar los espesores de las capas

de asiento existentes, para el paso de los trenes de alta velocidad a velocidades máximas de 250 km/h.

8.6. TRAMO: C/ PEDRO BOSCH (MADRID) –GETAFE

Se trata de un tramo de unos 8,7 km de longitud, donde se aprovechan 2,672 km de plataforma ferroviaria existente y en servicio, con una antigüedad de más de 20 años. El tramo no permite velocidades mayores de 100 km/h al tratarse de la salida/llegada a la Estación Madrid-Puerta de Atocha. Por tanto, el proyecto redactado por ADIF, contratando a la empresa consultora Iberinsa, S.A. – Ideam, S.A. (UTE), mantiene la misma velocidad. En este tramo se realiza el análisis de la plataforma para comprobar su validez para el paso de trenes de alta velocidad, a la velocidad máxima indicada. La sección tipo existente, en este tramo, no tiene capas de asiento, salvo la coronación de la explanación y la machaca que se extendía en las plataformas ferroviarias antiguas, por lo que los ensayos realizados se hicieran en estos niveles. La banda de mantenimiento disponible era de 5 horas, con corte total de circulaciones ferroviarias en ambas vías. Además de la plataforma en servicio, se analiza otra, a continuación de la anterior, con 1,668 km ya preparada y que se encuentra fuera de servicio, que sirve de plataforma para ensayos de contraste entre la placa carga dinámica y estática.

8.6.1. CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

La investigación geotécnica consistió básicamente en la realización de calicatas de plataforma en el centro de la línea, entre las dos vías con toma de muestras alteradas (del balasto, del subbalasto cuando existe, de la coronación del terraplén y del mismo) y de ensayos de penetración dinámica en el centro de las vías.

Como criterio general, en cada calicata de plataforma, se hicieron ensayos a dos niveles:

1) al nivel del subbalasto o capa de forma cuando existe, o a su vez al nivel de la coronación del terraplén;

2) en el fondo de la cata, correspondiente o a la coronación del terraplén o al núcleo del mismo o al fondo de desmonte en su caso. En estos niveles se hicieron ensayos de carga vertical con placa dinámica para analizar la deformabilidad de los materiales presentes, ensayos de determinación de humedad y densidad *in situ* por el método nuclear y por el método de arena. Se señala que a la hora de diseñar la campaña de campo surgieron algunos condicionantes, tales como:

i) tráfico ferroviario en la línea muy intenso, por lo que los cortes necesarios deberían ser minimizados y hacerse en el mínimo tiempo posible;

- ii) dificultad para que un camión accediese a los emplazamientos o tener que disponer de la ayuda de un vagón para obtener la reacción necesaria;
- iii) dificultad para realizar calicatas en el terraplén de la línea existente por falta de acceso;
- iv) dificultad en realizar calicatas en el centro de caja, que necesitarían la retirada de traviesas que podrían llegar a ser un número de 6;
- v) imposibilidad de hacer calicatas en el borde de la plataforma por presencia de servicios afectados.

En la Figura 5 y en la Figura 6 se presenta una planta y un perfil con la campaña de investigación geotécnica llevada a cabo.

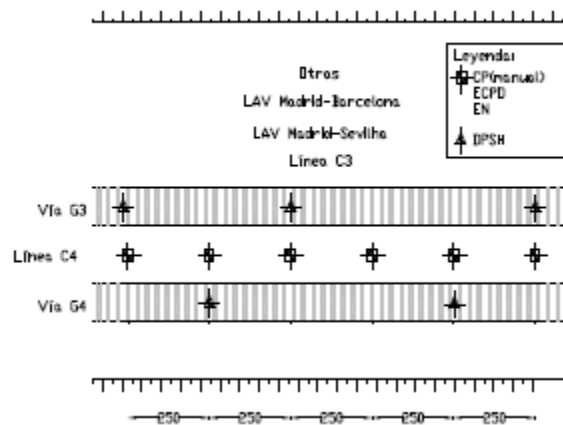


Figura 5. Planta esquemática de campaña de investigación geotécnica. Plataforma en servicio.

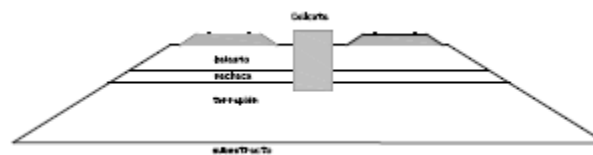


Figura 6. Perfil transversal esquemático de campaña de investigación geotécnica. Plataforma en servicio.

8.6.2. ENSAYOS DE CONTRASTE

En la zona de plataforma inactiva se hicieron simultáneamente ensayos de carga con placa estática y ensayos de carga con placa dinámica con el objetivo de correlacionar los dos ensayos y con el fin de extrapolar los resultados para la plataforma en servicio.

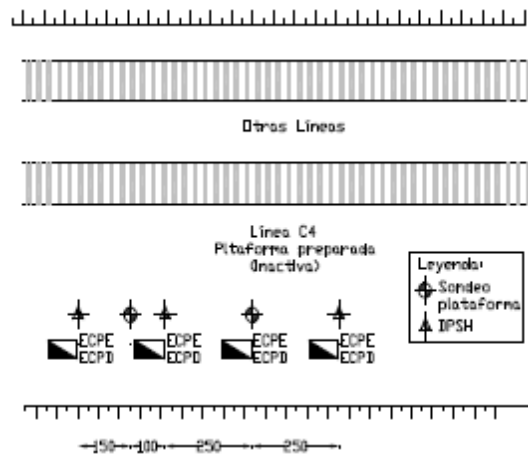


Figura 7. Planta esquemática de campaña de investigación geotécnica. Plataforma inactiva.

En la Figura 8, se presentan los resultados de los ensayos de contraste realizados sobre la capa de forma con 0,6m de espesor, en la plataforma inactiva, con respecto al módulo de deformación dinámica, E_{vd} , obtenido con los ensayos de carga con placa dinámica y a los módulos E_{v1} y E_{v2} , obtenidos en el ensayo de carga con placa estática.

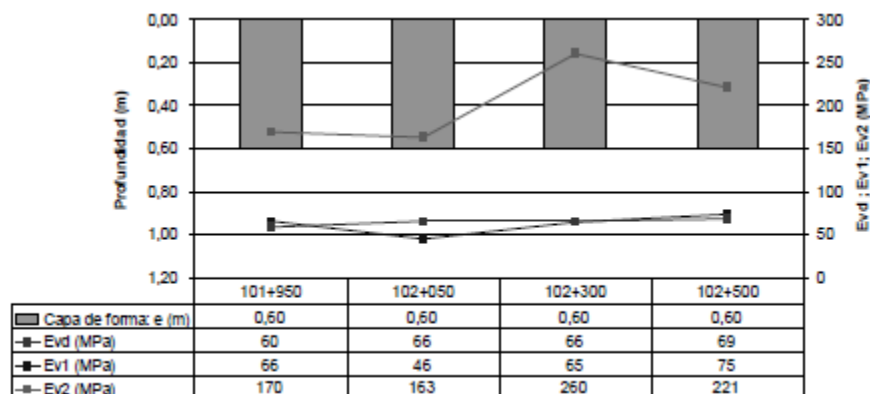


Figura 8. Ensayos de contraste en plataforma inactiva.

Se verifica que el valor del E_{vd} equivale aproximadamente al valor del E_{v1} y el valor del E_{v2} resulta aproximadamente 3 veces superior en relación al valor del E_{vd} . Se señala que esta correlación sólo es válida para la capa de forma.

De acuerdo con los resultados obtenidos y dada la uniformidad de la capa ensayada solamente fue posible contrastar un rango de valores limitado, para valores de E_{vd} entre 60 y 70 MPa, al que corresponde un valor ponderado del E_{v2} de 180 MPa. Además, se considera que la capa de forma ensayada cumple con los criterios de deformabilidad para plataformas ferroviarias, pues cumple el criterio del E_{v2} superior a 80 MPa y aunque no se cumpla el criterio de la relación E_{v2}/E_{v1} inferior a 2,2 en todos los puntos, como el valor medio resultante para E_{vd} fue de 66 MPa, se considera válida la capa de forma ensayada.

Con la realización de los ensayos de placa se hicieron ensayos de determinación de la densidad y humedad in situ por el método de arena y por el método nuclear en que resultaran valores alrededor de 21,5 KN/m³ y de 1,3%, respectivamente. Además, se hicieron 2 sondeos en el terraplén y 3 ensayos de DPSH para identificación de los materiales presentes y para análisis de su resistencia y deformabilidad.

La profundidad de rechazo obtenida en los DPSH se encuentra alrededor de los 20 m, resultantes de la suma del espesor del terraplén con golpes debajo de 10 y del relleno antrópico o el relleno de peñuela subyacente con golpes aproximadamente entre 10 y 20, aunque esto último ha sido tratado con columnas de grava.

9. ANEXO.3. IMPLICACIONES TÉCNICAS DE LA CIRCULACIÓN A ALTA VELOCIDAD

En este capítulo se va a tratar sucintamente acerca de los parámetros de diseño utilizados para líneas con circulación a alta velocidad partiendo de la formulación básica. El paso a circulaciones por encima de los 200 km/h supuso un reto no solo respecto al material rodante, sino también respecto al diseño de todos los elementos que componen la infraestructura ferroviaria.

9.1. PARÁMETROS DERIVADOS DEL ANÁLISIS DE LA DINÁMICA VERTICAL

9.1.1. DEFECTOS DE VÍA Y RIGIDEZ VERTICAL

Las solicitaciones verticales sobre la vía ejercidas por el material ferroviario pueden evaluarse a partir de la fórmula de Prud'homme; siendo:

$$Q_T = Q_E + \Delta Q_D \quad [1]$$

QT = esfuerzo vertical total producido por una rueda sobre el carril.

QE = esfuerzo estático ejercido por una rueda.

ΔQD = esfuerzo dinámico ejercido por la rueda.

Este último término ΔQD se cuantifica por la expresión: siendo:

$$\Delta Q = 2 \cdot jC2(\Delta QNS) + C2(\Delta QS) \quad [2]$$

ΔQNS = desviación típica debida a las masas no suspendidas del vehículo (a la postre las más dañinas para las vías), determinada por la relación matemática:

$$\Delta QNS = a \cdot b \cdot V \sqrt{m} \cdot k \quad [3]$$

a = parámetro que representa la amortiguación producida por el soporte de la vía.

b = parámetro que caracteriza la amplitud de los defectos de la vía y del material.

V = velocidad de circulación del vehículo ferroviario.

m = masa no suspendida del vehículo.

k = rigidez vertical de la vía.

El otro término, ΔQS representa la desviación típica de las sobrecargas dinámicas debidas a las masas suspendidas y se puede aproximar a:

$$\Delta QS (0,12 \text{ a } 0,14) QE$$

Por tanto, en este apartado se va a incidir básicamente en la expresión [3] para ver de qué manera se ha mejorado la infraestructura de cara a cumplir los requisitos técnicos necesarios para la circulación a alta velocidad.

Incrementar el amortiguamiento del soporte de la vía:

- a) Aumentar el espesor de las placas de asiento de 4,5 mm a 9 mm (para $V > 200$ km/h)
- b) Aumentar el espesor de la capa de balasto de 20 o 25 de las líneas convencionales hasta los 35 cm de las líneas de alta velocidad.

Reducir el valor del parámetro que caracteriza la amplitud de los defectos de la vía y el material.

Lo que se traduce en una menor permisividad con los defectos geométricos de la vía. La Tabla 3-1 planteada por la SNCF (1976) presenta algunos valores de referencia para nuevas líneas de alta velocidad.

Tabla 3-1: Defectos de referencia en líneas de alta velocidad

Parámetro	Defecto corriente [mm]	Defecto aislado [mm]	Desviación típica (base de 300 m) [mm]
Ancho	2,5	6	0,9 / 1,0
Alineación	3,5	6	1,0 / 1,2
Nivelación longitudinal	2,5	5	0,8 / 1,0
Nivelación transversal	2	4	0,6 / 0,8
Alabeo	1,5 mm/m	3 mm/m	-

Fuente: [2]

- **Disminuir la rigidez vertical (k) de la vía.**

Debía llegarse a un compromiso, ya que a mayor rigidez de la vía, mayores serían las sobrecargas dinámicas, mientras el consumo energético sigue el patrón inverso. Según un estudio del profesor López Pita [17] para velocidades de 200 km/h el valor óptimo se sitúa en torno a 50-60 kN/mm, mientras que para 300 km/h pasa a ser en torno a 70-90 kN/mm. Existen básicamente tres factores sobre los que actuar: la placa de asiento, la suela elástica de las traviesas y la almohadilla elástica bajo el balasto.

- **Reducir el peso no suspendido del material rodante.**

Como órdenes de magnitud, se ha conseguido pasar de máximos de 20-22 t/eje del material convencional a los 12-17 t/eje para trenes de pasajeros de alta velocidad.

9.1.2. TRAVIESAS, PLACAS DE ASIENTO Y SISTEMA BALASTO-PLATAFORMA

Zimmermann aportó una formulación para evaluar la tensión (σ_t) sobre la superficie de la capa de balasto:

$$\sigma_t = \frac{Qd^4}{2F} \sqrt{\frac{cF}{4EId}}$$

[5]

Donde:

Q = carga vertical por rueda (kg).

d = distancia entre traviesas.

F = área de apoyo de las traviesas por hilo de carril (cm²).

E = módulo de elasticidad del carril (kg/cm²).

I = momento de inercia del carril respecto al eje horizontal (cm^4).

De la expresión [5] se extrae que para rebajar las tensiones en la capa de balasto y, por tanto, reducir el deterioro geométrico de la vía, es de interés:

- Incrementar el momento de inercia I del carril.

Para ello se utiliza el carril de 60 kg/ml en lugar del utilizado en las vías tradicionales de 54 kg/ml.

Incrementar el área de apoyo de las traviesas. En general la tendencia ha sido a aumentar el área de apoyo como puede verse en la Tabla 3-2, con la consecuente reducción de la tensión en la capa de balasto.

Tabla 3-2: Área de apoyo (cm^2) de las traviesas en algunos países europeos.			
País	Línea convencional	Línea de alta velocidad	Variación
Alemania	2565	2850	111%
España	2088	3125	150%
Francia	1972	2436	124%
Italia	2430	3150	130%

Fuente: [2]

- Modificaciones el sistema balasto-plataforma y las placas de asiento.

Con el objetivo de conseguir que las tensiones en la plataforma sean las mínimas y lo más uniformes posible, la tendencia ha sido a aumentar la rigidez de todo el conjunto que conforman las capas de asiento añadiendo capas sub-base de granulometría descendente a medida que se aproxima a la plataforma como muestra la Figura 3-1.

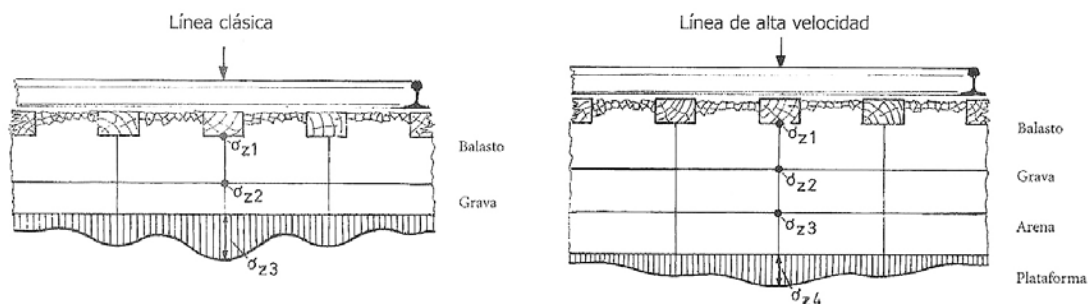


Figura 3-1: Esquema del sistema balasto-plataforma.

Con respecto al balasto, como se ha dicho anteriormente su espesor se ha aumentado respecto a las líneas convencionales para soportar la abrasión, básicamente cuando el balasto está en contacto con estructuras rígidas, el valor máximo tolerable del Coeficiente de Los Ángeles se ha reducido de 18 a 15 (norma española).

Este aumento de la rigidez se ha compensado con un incremento de la elasticidad de las placas de asiento.

9.2. PARÁMETROS DERIVADOS DE LA AERODINÁMICA EN TÚNELES

Debido a la mayor rigidez de trazado que implica la alta velocidad, se ha incrementado notablemente la necesidad de túneles. La sección transversal de los túneles viene determinada por criterios de confort del viajero, ya que debido a varios fenómenos relacionados con la aerodinámica del vehículo y las características geométricas del túnel (longitud y sección) puede experimentar molestias en los oídos a causa del incremento de presión resultante del paso del tren por el túnel.

El límite superior de presión en el oído se ha fijado en 10 kPa para circulación a máxima velocidad y con previsión de fallo de estanqueidad. Con estos criterios y a partir de la experiencia francesa en la explotación de la alta velocidad se han obtenido los órdenes de magnitud de la sección en túnel mostrados en la Figura 3-2.

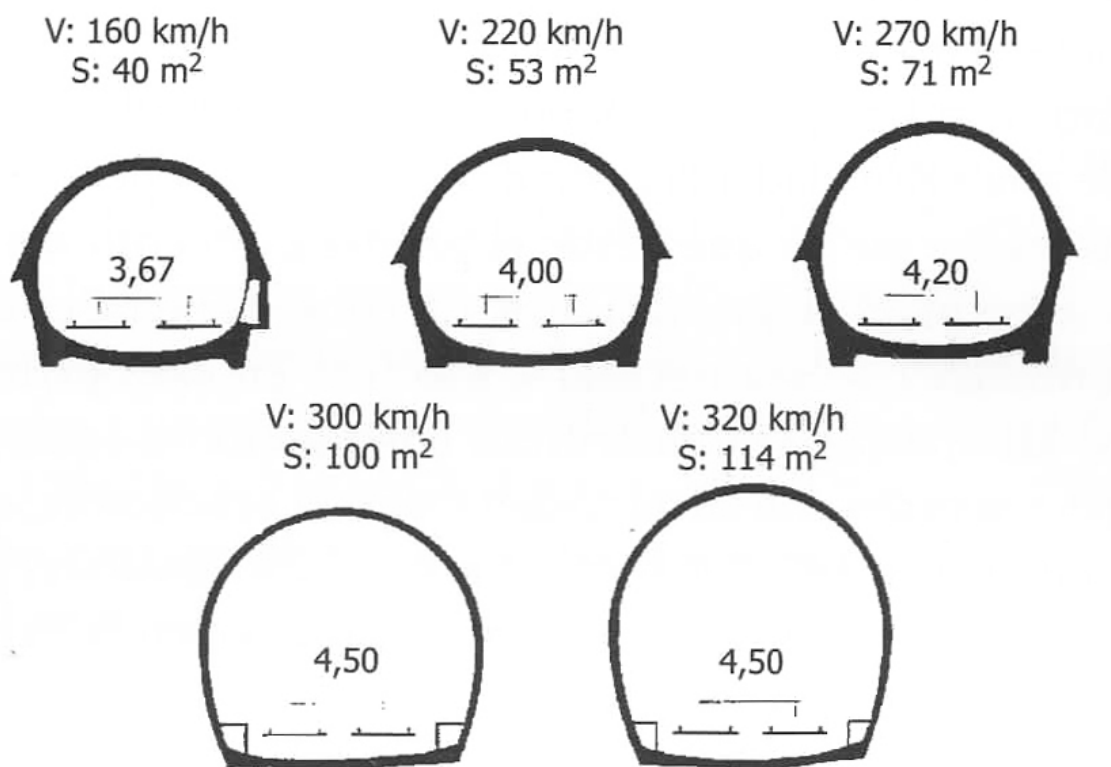


Figura 3-2: Variación de la sección transversal de los túneles con la velocidad.

Como apunte, para túneles de cierta longitud (10 km o más) se recomienda la construcción de doble túnel en paralelo, ambos conectados por galerías cada 200-300m, básicamente como medida de seguridad en caso de accidente.

9.3. SÍNTESIS

Para concluir, se presenta a continuación la Tabla 3-3 que resume muy a groso modo los parámetros más importantes para una línea de alta velocidad contrastándolos con los de una línea convencional:

Tabla 3-3: Resumen de las magnitudes más relevantes de la alta velocidad.		
Factor	Magnitudes	Observaciones
Carril	UIC60 frente a 54 kg/ml	Por mejor conservación de la vía
	Defecto de 0,3 mm en longitudinal de 1,7 m frente a 1mm	Por coincidencia en aceleraciones de las cajas de grasa
Sujeción	Frecuencia propia > 1.500 Hz	A más de 300 km/h
Placa asiento	Espesor de 9 mm frente a 4,5 mm	Mayor amortiguamiento
Traviesa	Mayor área de apoyo	Menores gastos de mantenimiento
	Mayor peso (de 200 a 300 kg)	Mayor resistencia transversal
Balasto	Mayor espesor (35 frente a 20-25 cm)	Mayor capacidad de amortiguamiento
	Menor Límite CA	Menor desgaste a AV en estructuras
Plataforma	Mayor capacidad portante	Reducción y amortiguación de cargas
	Tratamiento en accesos a estructuras	Disminución de asientos diferenciales
Túneles	Mayores secciones	Reducción efectos de presión al viajero
		Disminución de la resistencia al avance
Aparatos de vía	De corazón móvil frente a cambios con laguna del cruzamiento	Mejora la seguridad de la circulación

Fuente: [2]

9.4. VÍA EN PLACA

La vía en placa está siendo incorporada con fuerza en el sector de alta velocidad por sus características. El ingeniero Estradé Panadés (1998) presentó la Tabla 3-4 que permite comparar ventajas e inconvenientes de la vía en placa con respecto a la vía con balasto:

Tabla 3-4: Análisis comparativo de la vía con y sin balasto.		
Parámetros	Vía en placa	Vía con balasto
Supresión de cargas	Buena absorción de esfuerzos	Limitada estabilidad transversal
Parámetros de trazado	Permite radios de curvatura menores	Posibilita modificaciones en la geometría de la vía
Altura del plano de la vía	Sección menor en túneles (-10 m ²)	Mayor espesor necesario
Comportamiento ante vehículos	Comportamiento garantizado	Escasa incidencia por las variaciones de la rigidez de la plataforma
Freno por corrientes de Foucault	Esfuerzos acotados por el incremento de la temperatura del carril	Problema de absorción de los esfuerzos originados
Emisiones sonoras	Requiere la colocación de material absorbente	Buena amortiguación acústica, corpórea y aérea
Proyección de balasto	Descartadas	Posibles a alta velocidad
Mantenimiento	Poco y larga vida útil	Frecuente
Disponibilidad	Muy alta	Depende de canteras aptas
Inversión	Altos costes de instalación si no se mejora la mecanización de su montaje	Bajos costes de instalación (50% respecto a los costes de vía en placa)

Fuente: [19]

Las principales ventajas pueden resumirse básicamente en que la vía en placa permite transiciones más efectivas para los tramos con estructuras rígidas, mayor resistencia transversal (lo que permite circulaciones en curva a mayor velocidad) y menores costes de mantenimiento. Por tanto, es altamente recomendable en tramos con tráfico mixto y/o con gran cantidad de estructuras rígidas.

Estas premisas encajan en gran parte con muchas de las líneas chinas, es por ello que ha sido extensamente utilizada en las líneas de la nueva red (Figura 3-3). De hecho, los 117 km de la línea que une Tianjin con Beijing discurren por vía en placa.



Figura 3-3: Vía en placa con desvío (línea Wuhan-Guangzhou).

10. BIBLIOGRAFIA

1. Chueca Barcones, Miguel Angel. "Cincuenta años de evolución de alta velocidad ferroviaria" Proyecto de fin de carrera E.U.I.T.I.Z, marzo 2006.
2. Dr. Luis Lezáun Martínez de Ubago, Apuntes de la asignatura de Ferrocarriles Catedrático de la E.U.I.T.I.Z.
3. Hernández olivan, Guillermo. "Estudio de los sistemas de tracción y confort en trenes de alta velocidad". Proyecto de fin de carrera E.U.I.T.I.Z, septiembre 2009.
4. Marta López (marta.lopez@cidemco.es) Izaskun Martínez (izaskun.martinez@cidemco.es) "Proyecto Railcen: estudio de la evolución de un incendio en vehículo ferroviario provocado por materiales de interiorismo de acuerdo a cen / ts 45545-2.d.".
5. Revista Via Libre Nº 542 junio 2010.
6. Revista Via Libre Nº 544 septiembre 2010.
7. <http://www.todotrenes.com/>.
8. <http://www.ferrocarrils.net/>.
9. La enciclopedia de trenes y locomotoras 2003 Amber books Ltd, London.
10. Colección monografías vía libre Nº 1. Alta velocidad en España, líneas y trenes.
11. <https://es.wikipedia.org>
12. www.adif.es
13. www.adifaltavelocidad.es
14. [www.ferropedia.es/wiki/Líneas_de_Alta_Velocidad_\(LAV\)_en_España](http://www.ferropedia.es/wiki/Líneas_de_Alta_Velocidad_(LAV)_en_España)
15. www.ferromodel.cl
16. Puente de la maquinilla.mforos.com
17. www.flickriver.com

18. Viajes ferroviarios.blogspot.com
19. www.Fotolog.com
20. www.forotrenes.com
21. <http://www.doc4net.es/>
22. www.wsj.com
23. Superconductivity & Levitation www.dailykos.com
24. www.alstom.com
25. levimagne.blogspot.com.es
26. magneticlevitation.wordpress.com
27. DOMEX - El acero de alta resistencia proporciona trenes más seguros www.ssab.com
28. www.vialibre.org
29. www.tremsim.com (AGV alstom)
30. www.tecnica-vialibre.es (Railcen)
31. Detector del Comportamiento Dinámico del Pantógrafo (DCDP) www.logytel.es
32. www.talgo.com (Avril)
33. www.chinatouristmaps.com (Detailed Map of Shanghai Maglev Train Line)
34. megaconstrucciones.net (Maglev de Shanghai - Megaconstrucciones, Extreme Engineering)
35. www.nosoloingenieria.com (El primer tren magnético: Shanghai Maglev | NoSoloIngenieria)
36. www.travelchinaguide.com (Shanghai Maglev Train, SMT)
37. www.smtdc.com (Shanghai Maglev Official Website)
38. www.japonismo.com (El shinkansen E5, el tren bala más rápido - Japonismo)

39. www.japonismo.com (La serie 500 de shinkansen)
40. www.japan-guide.com (Shinkansen (Japanese Bullet Train)
41. www.siemens.com (ICE)
42. www.railway-technology.com (Siemens Velaro D / ICE 3 (Series 407) high-speed train - Railway Technology)
43. www.fierasdelaingenieria.com (Tren de alta velocidad Siemens Velaro D / ICE 3 (Serie 407) | Fieras de la Ingenieria)
44. www.bahn.de (ICE)
45. www.railengineer.uk (Pendolinos undergo major bogie overhaul | Rail Engineer)
46. www.skyscrapercity.com (Tecnología | Basculación - SkyscraperCity)
47. www.thalys.com
48. www.detrenes.com (Tren Thalys | Trenes Europa |)
49. www.italiatrenes.com (thalys)
50. es.interrail.eu (Thalys)
51. www.trenesitalia.com
52. www.italotreno.it
53. www.raileurope.com.mx (Italo – NTV (Italia): Información para viajar en tren - Rail Europe)
54. www.railpictures.net
55. www.lne.es
56. www.yorokobu.es (El milagroso tren bala japonés)
57. www.sncf.com
58. www.renfe.com

59. www.uic.org UIC - International Union of Railways
60. ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN DE PLATAFORMAS EXISTENTES PARA A ALTA VELOCIDAD MEDIANTE ENSAYO DE CARGA VERTICAL CON PLACA DINÁMICA. Jesús J. Ruiz Casamayor, Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, Madrid, España, Carina Vaz Monteiro, Iberinsa, Madrid, España, Gonzalo Delgado Torres, Intecsa-Inarsa, Madrid, España, Montserrat Estaca Gómez, Intecsa-Inarsa, Madrid, España.