



ASOCIACIÓN DE  
INGENIEROS  
DEL ICAI  
Servicio Jubilados

# LA INGENIERIA FERROVIARIA EN LOS SIGLOS XX Y XXI: 1986 - 2018

Ignacio de Ribera  
Madrid 26 de marzo de 2019



# A modo de introducción

Como continuación de las anteriores conferencias sobre la ingeniería ferroviaria, se pretende ahora presentar el fenómeno del ferrocarril desde el periodo final del siglo XX hasta la actualidad.

Como este periodo histórico es muy reciente cambiaré la forma de exponer los avances ingenieriles.

Empecemos por ver algunos de ellos, repasando los avances tecnológicos en los años 70 y 80 del pasado siglo.



# Electrónica en los años 1970/90 (I)

Último tercio siglo XX; se consolida la entrada masiva de la electrónica e informática en el ferrocarril.

Todos los campos: Material Rodante, Instalaciones, y Gestión empresarial en su sentido amplio.

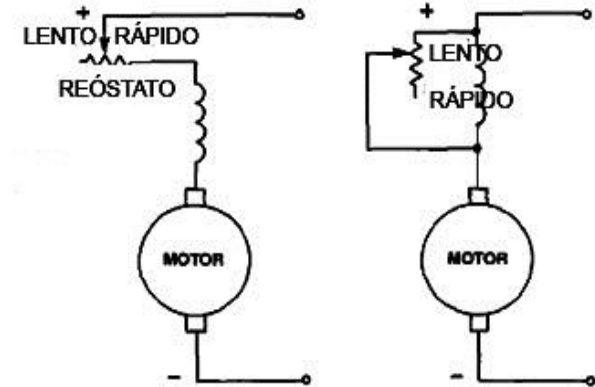
Veremos los avances en tracción y servicios auxiliares de vehículos; principalmente en España.

En España se puede considerar como primeros vehículos de utilización de la electrónica de potencia: las dos S 440.5, y el basculante S 443 (**1976**).



# Electrónica en los años 1970/90 (II)

Los motores de tracción han sido generalmente motores serie de corriente continua y la regulación de su velocidad se ha realizado mediante la variación de tensión de alimentación y la reducción de la intensidad de excitación.



Tradicionalmente esta regulación se hizo mediante resistencias en serie con el motor; en el arranque la resistencia era la máxima y al ir aumentando la velocidad se iba reduciendo. Para aumentar más la velocidad, una vez el motor conectado a la máxima tensión, se iba reduciendo la corriente de excitación añadiendo resistencias en paralelo a las bobinas de excitación.



# Basculante

La tecnología de tracción del basculante era bastante tradicional, aunque el conjunto de “shuntado” de los motores de continua era regulado de forma continua mediante tiristores; en contraposición a los tradicionales escalones. Además se utiliza por primera vez en España un convertidor estático para los servicios auxiliares sustituyendo a las máquinas rotativas. En el alumbrado de emergencia se utilizan por primera vez convertidores CC/CA.

El equipo de basculación era gobernado por un equipo electrónico. Los sensores de giro (giróscopos y acelerómetros alimentados red de 400 Hz; eran de procedencia aeronáutica).



Según mi opinión este tren “padeció” de demasiadas innovaciones, pero sirvió para fomentar un grupo de dinámica ferroviaria y electrónica en Renfe; de lo que nos hemos beneficiado unos cuantos, y en general el ferrocarril español.

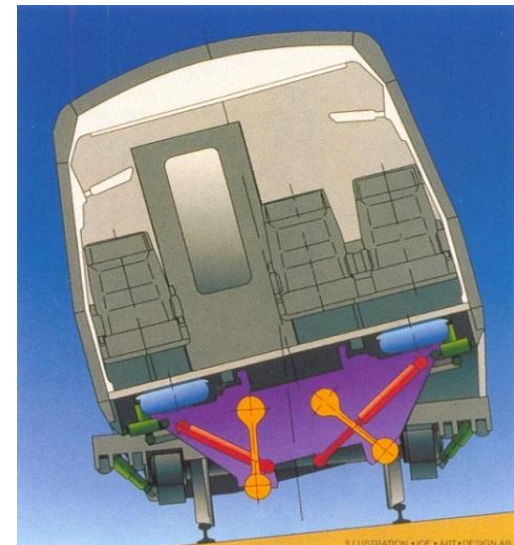


# Basculación/pendulación (I)

Tecnología de basculación y pendulación; en inglés tilt o tilting, se diferencian añadiendo pasiva (pendulación) o activa (basculación).

Es posible ya que la velocidad de paso por las curvas viene dada por el confort del pasajero. El límite de velocidad para mantener la integridad de la vía y la de los vehículos es notablemente superior => se puede aumentar la velocidad. Se inclina la caja del vehículo; no se peralta más la vía => que sería un problema con trenes lentos (exceso de peralte y desgaste carril). La inscripción en gálibo está asegurada => se reduce sección caja del vehículo.

Basculación inclinación cajas de los vehículos de forma activa al inicio de las curvas. Esto requiere dispositivos que detecten el inicio de la curva (aumento paulatino del peralte) y actúen sobre la caja inclinándola a favor de la curva. El viajero notará una menor aceleración lateral que si el vehículo no fuera basculante.

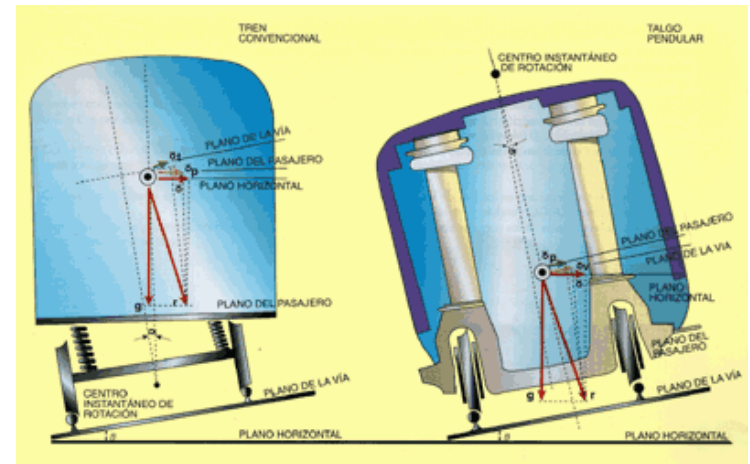




# Basculación/pendulación (II)

La inclinación máxima en basculación está en los 8 a 10 °. Ganancias de velocidad en curva hasta 30 %; según los casos. No obstante consumo auxiliares de estos trenes es sensiblemente superior a los tradicionales.

La pendulación, por el contrario, se basa en utilizar la aceleración lateral sobre la caja de forma natural como un péndulo. Para ello se requiere que el centro instantáneo de giro este muy alto. En los vehículos clásicos esto es complicado, pero en la tecnología Talgo es muy sencillo.



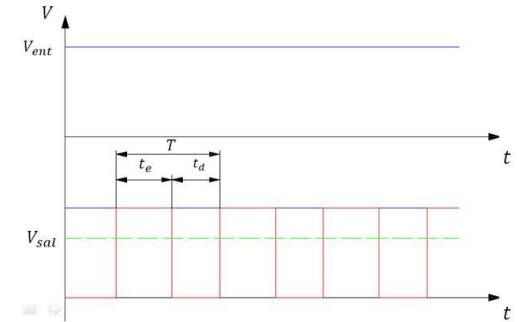
Con esta técnica la inclinación de la caja es menor que en la basculación; del orden de 3,5 °. Naturalmente la ganancia de velocidad es menor; pero en cambio el consumo adicional de energía auxiliar es nulo.



# El chopper (I)

Consiste básicamente en regular la tensión mediante tiristores (trocear la tensión).

Dependiendo del equipo concreto se seguía utilizando la reducción de campo de forma escalonada o continua. Esta tecnología sólo es de aplicación en corriente continua.



S 440.500 tracción Chopper (tiristores Mitsubishi); frenado eléctrico recuperación y reostático. Los auxiliares máquinas rotativas; electrónica de mando: componentes electrónicos discretos sin utilizar microprocesadores en el control.

Prototipo español de unidad de cercanías urbanas, S 445 (**año 1984**). Se partió de lo conocido, S 440, y se le dotó de mayor potencia y aceleración, aunque con velocidad menor (100 contra los 140 km/h). El diseño exterior era muy similar a la S 440, pero en el interior ya se efectuaron notables cambios.







## El chopper (II)

Los auxiliares => convertidores estáticos. Se probó un prototipo de MTM con control por microprocesador; siendo posiblemente el primero a nivel mundial. Se diseñó originalmente como dos coches motores y luego se le añadió el remolque intermedio.

Fue la última serie eléctrica con puerta frontal en la cabina.

La S 445 sirvió de base para la S 446; aunque de apariencia tienen poco que ver ambas series. La S 446 ya nació con los dos coches motores y uno intermedio remolque dotado con los pantógrafos y el extrarrápido; filosofía S 420 de la DB.



Los sistemas auxiliares serían muy parecidos a la S 445. Los bogies serán los mismos y el equipo de tracción chopper muy similar.



# El chopper (III)

Ya hemos visto con esta tecnología chopper:

- **1981** 4 locomotoras S 269-600 (604 se conserva en el museo), y la S 251.
- **1986** 5 locomotoras S 250-600.
- A partir de **1989**, las 170 unidades S 446.

Curiosamente las 110 locomotoras S 269-200/300 => tecnología tradicional.

Metro de Madrid ya utilizó la tecnología chopper, año **1982**, S 5200/5300; y posteriormente la S 5500.

También metro de Barcelona, y FGC han tenido series con tecnología chopper.

Entre otros, la Sncf ya había lanzado sus primeras series Chopper, BB7200 y 22200, entre el año **1976** y el **1985**.

Así mismo los italianos con sus locomotoras de la serie 632/633, y los “Pendolari” (cercanías) de la serie Ale 644-804 y Le 724-884.



# Convertidores estáticos para auxiliares

Avances electrónicos en control y servicios auxiliares de los vehículos.  
Coches Corail franceses (**1975**), convertidor estático para servicios auxiliares;  
básicamente Aire Acondicionado (**1980** alquiler RENFE 50 coches).  
**1981** serie 9000 convertidores estáticos de Sepsa con tecnología inicial de  
“Elettrotecnica Parizzi” => evolucionando hacia tecnología propia española.



Destacar la puesta en servicio **julio 1990** de los coches de dos pisos remolcados por una locomotora S269, con remolque con cabina en el extremo opuesto.

A partir de principio de los **años 90** se extiende el uso de los convertidores estáticos al parque de vehículos motores. También el control evoluciona de una electrónica discreta hacia la digital.



# La trifásica y el prototipo S 311 (I)

La tracción trifásica nació muy a finales del siglo XIX; Segunda mitad S XX prototipos: diversos países tracción térmica y eléctrica. Inicialmente desde redes de alterna; posteriormente aumentando la electrónica.

S 120 DB: 5 prototipos **1976** (tiristores); serie en **1987**: 15 kV ca.



**1982** programa prototipo MABI; desarrollo locomotora mixta de maniobras y línea; 4 ejes. Opción otra 3 ejes sólo de maniobras (no desarrollada). Parte eléctrica MTM (apoyo de Siemens); Bogies B&W; diseño y montaje Ateinsa (Villaverde Bajo).



# La trifásica y el prototipo S 311 (II)

Primera vez tracción con motores trifásicos en RENFE.

Inicia pruebas en vía **octubre 1985** (Barcelona). Pruebas oficiales proximidades de Madrid y en Barcelona; recepción **junio 1986**.

**Noviembre 1986** cambio el regulador del diésel, y control electrónico se sustituye por microprocesador SIBAS 16 Siemens.



Se fabricaron 60 locomotoras S311.1; varias series han derivado de la S311 (ya como ALSTOM o Vossloh) para países como Francia, Suiza, Egipto, y varios más.



# La trifásica y el prototipo S 311 (III)

Un poco antes, Metro Madrid pone en servicio la 1ª serie 2000 (12 trenes M-M) con un control muy similar al inicial de la 311; el tren 2009/2010 tenía control por microprocesador SIBAS 16.

La puesta a punto de este tren se realiza entre **1985** y **1986**.



Metro de Barcelona empezaría más tarde con la tracción trifásica.

**1988**; Sncf lanza la serie Sybic BB 26000 bitensión.

**Final 1988** Ferrocarriles Reticos empezaron a usar GTO; alimentación en CC.



# Instalaciones fijas (I)

**Final años 70;** se consolida el despliegue del sistema ASFA (anuncio de Señales y Frenado Automático). Primer sistema de señalización embarcada que se instala en la Red estatal (aunque sea sólo como ayuda conducción).

El ASFA tardó en hacerse un hueco en el personal de conducción, pero fue en seguida asumido de buen grado; debido a varios sucesos en donde el ASFA evitó accidentes que hubieran podido ser muy serios.





## Instalaciones fijas (II)

**Julio 1984**, rampa de Pajares: por primera vez servicio comercial comunicación entre trenes puesto de mando. Se realizó después de una instalación prototipo de Madrid a Pinar de las Rozas finales años **70**.

Posteriormente por toda la Red hasta llegar a una cobertura total líneas principales y parcial en secundarias.



En **1967** primeras subestaciones eléctricas con rectificadores de diodos potencia (silicio) en Chamartín, y Segovia a Medina del Campo; antes convertidores de vapor de mercurio.

Desde estos años se generalizan los diodos y se van sustituyendo los grupos antiguos por este tipo de rectificadores.





## Instalaciones fijas (III)

**Mediados años 80**, utilización circuitos de vía de impulsos; mejora de los tradicionales de 50 Hz, en lugares con ambiente de difícil cortocircuitado.

**Finales años 80** se colocan primeros CCVV de audiofrecuencia. Esto supuso una mejora tanto por su mayor inmunidad a las perturbaciones, como por la posibilidad de no tener que cortar la barra larga en los cambios de CV. Con esto mejoraba el confort de marcha de los trenes y mejoraba el mantenimiento; tanto de vía como de los vehículos.

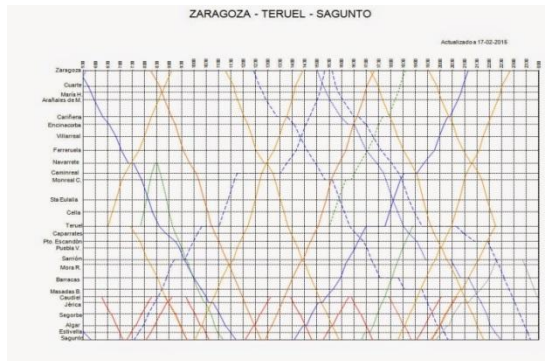
Respecto a las comunicaciones fijas; bastante tradicionales, aunque ya se usaban ciertos enlaces radioeléctricos desde hacía bastantes años. **Finales años 80** empiezan centrales digitales telefonía.

**7 julio 1988** nacen PPNN automáticos; no asociados a estaciones. Con indicaciones luminosas y semibarreras a la carretera, y al ferrocarril señales y balizas de ASFA (uso sólo señales luminosas sin semibarreras posterior).



# Gestión

La electrónica se va abriendo paso de forma masiva. Primer ordenador electrónico **año 1960**; final **años 80** se va extendiendo a las oficinas. Correo electrónico, en RENFE, **años 90**; finales década su extensión a Internet. A las aplicaciones de: nóminas, gestión financiera y billetes largo recorrido, se van sumando las de gestión trenes. SITRA regulación del tráfico (**finales 80**), SACIM gestión de vagones (**1988**), SIGLO gestión de locomotoras (**1990**) y Archivo Patrón para puesta en circulación de vehículos y trenes (**1995**).



Anterior a estas fechas, y sin relación directa con la electrónica digital, sobre **1978** nace lo que se denominó Plan estratégico de Renfe. Pretendía dar un salto de la gestión tradicional de una empresa ferroviaria, hacia los nuevos aires de la gestión; ya contando con el apoyo de la informática.



# Panorama desde 1986 (I)

**1986** NAFA (Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía) vía doble ancho ibérico y 3 kV cc; alternativa a Despeñaperros. Diseñado a 250 km/h; conexión norte en Getafe y sur en Córdoba (desdoblándose a Lora del Rio).

**Junio de 1986** explotación comercial a 160 km/h => múltiples ensayos de captación de corriente y de dinámica de marcha: futura AV. Modificación 4 locomotoras 269-600 a 200 km/h; adaptación realizada por CAF. **1988** una locomotora record de tracción eléctrica en España 243 km/h (ancho ibérico).

En paralelo a esto, en **1988** se realizan las pruebas del nuevo Talgo pendular serie 6 (200 km/h) de cara a la explotación de la futura línea de AV y recorridos complementarios por las líneas convencionales.



Misma filosofía futuros trenes: recorridos mixtos en AV 250 km/h y 200 km/h convencional. Con estas premisas => número de trenes y locomotoras necesarias para la futura explotación integrada: NAFA y del resto de la red.



## Panorama desde 1986 (II)

Las instalaciones de seguridad se preparan para el salto de 160 a 200 km/h en las líneas convencionales. Se decide seguir la filosofía francesa, doble cantón de frenado, frente a la alemana; dotación de los trenes con patines de freno electromagnéticos.

Hacia **1988**, se empieza a instalar el nuevo aspecto de señales en futuras líneas de 200 km/h: el verde destellante. La secuencia de señales pasa a ser verde (vía libre), verde destellante (vía libre condicional), amarillo (anuncio de parada) y rojo (parada). Esto supuso el diseño de un nuevo equipo ASFA 200 capaz de reconocer la nueva señal y actuar en consecuencia. Para los trenes de velocidad máxima de 160 km/h o inferior esa señal les significaba lo mismo que la verde, por lo que hubo que modificar todos los equipos ASFA de esos trenes.



## Panorama desde 1986 (III)

Cercanías urbanas; si bien las cercanías ya existían como tales => llegada S 440; no visión global cercanías urbanas. Última mitad **años 80** empieza gestión con medios suficientes. Para ello, entre otras actuaciones, en Madrid se diseña y construye una nueva terminal en Atocha y se lanza la S 446 para los diferentes núcleos de cercanías; en especial la Olimpiada de Barcelona y la Expo de Sevilla. Complemento de esto y para hacer efectiva la actuación en Madrid, se construye nueva estación de metro en L1. Se inicia **noviembre 1987**; servicio **julio 1988**. Apeadero provisional Atocha cierra **24 julio**. Estación de Atocha cerró **24 septiembre 1988** para trenes expresos, y **4 noviembre** definitivamente. Fue entrando paulatinamente en servicio la nueva estación de Atocha Cercanías.





# Nace la Alta Velocidad (I)

**21 octubre 1988:** el contrato de trenes y locomotoras => la noticia: cambio de ancho NAFA. Supuso renegociar contratos y adaptar ofertas trenes y locomotoras; rediseñar trazado del NAFA, al no poderse utilizar tramo Getafe – Atocha, ni Córdoba – Sevilla. Además cambio tensión alimentación de 3 kV cc a 25 kV ca 50 Hz. Sólo en Italia se circulaba con 3 kV a más de 200 km/h.

Fue una decisión política arriesgada, no muy bien meditada, pero analizada en la actualidad ha sido provechosa. Las necesidades reales de trenes y locomotoras quedaron modificadas; peticiones contractuales no se modificaron. Bastantes meses después hubo que renegociar contratos para adaptarlos (p. e. cambio ancho en algunos vehículos).

Para la futura línea AV se van tomando una serie de decisiones combinado las ingenierías española, francesa y alemana; Instalaciones: consorcio Hispano-Alemania, desarrollará y construirá electrificación, señalización y comunicaciones. Por primera vez se usa en España una catenaria apta para 300 km/h con electrificación de 25 kV ca a 50 Hz. Se consigue: subestaciones más alejadas, catenaria más ligera, pero en algunos casos líneas nuevas de alta tensión > P.



## Nace la Alta Velocidad (II)

Para evitar interferencias con el resto de las líneas, y posible con la población cercana, tanto en Madrid como en Sevilla se mantendrá la tensión de 3 kV cc; hasta el año **2002**. No problema captación; velocidades inferiores a 200 km/h.

Señalización CCVV de audiofrecuencia y enclavamientos electrónicos usados por primera vez en MS, Atocha Cercanías y en alguna otra estación de la red. Se usará el LZB alemán; mediante cable a lo largo de la vía.

Comunicaciones fijas centrales digitales, radiotelefonía la misma de la red, pero en trenes equipo doble de radio => transición entre canales automática.

Trenes (S100), final **1988** decisión => serán TGV (del TGV Atlantic, pero con un coche menos y bitensión 25/3 kV), los motores trifásicos síncronos.

Locomotoras (S252) derivadas S 120. Equipo eléctrico desarrollo novedoso a base de GTO en lugar de tiristores; control por microprocesadores Sibas 16.

También esta fue una decisión política, pero como decía nuestro colega Justo Arenillas, coincidió que técnicamente fue acertada.



## Nace la Alta Velocidad (III)

**21 de abril de 1992** nueva línea Madrid Sevilla; a la vez Expo de Sevilla. Ciertos temores sobre viabilidad, pero se indujeron nuevos flujos de viajeros. Sirvió de acicate para desarrollar las futuras líneas de AV. Se cumpliría lo que pronosticó el célebre ferroviario francés Louis Armand cuando dijo que si el ferrocarril sobreviviera al siglo XX sería el gran protagonista del siglo XXI (y lo dijo aproximadamente en la década de los **70**). Acababa de nacer la Alta Velocidad Española, que RENFE plasmó en la marca AVE.







## Resto década de los 90 y siglo XXI (I)

2ª mitad **años 80** desaparece freno de vacío en viajeros => aire comprimido. 2ª mitad **90** desaparece también en los trenes de mercancías. Nuevas locomotoras mediados **años 80** sólo freno de aire comprimido; freno dual a extinguir. Todo esto referido a la RFIG española.

Vehículos auxiliares => evolución plantilla de trabajadores y la sociedad en general. Muchas de las labores de mantenimiento se sustituyen por elementos mecánicos. Nacen las bateadoras, niveladoras, perfiladoras, etc; tratamiento vía. Vehículos para la catenaria, tratamiento de vegetación (trenes herbicidas), auscultadores de diversos tipos y trenes taller evolucionados. Se va aumentando la automatización de este tipo de vehículos y perfeccionando hasta alcanzar trenes integrales de renovación de vía, e incluso de la capa alta de la plataforma.





## Resto década de los 90 y siglo XXI (II)

Desaparece British Rail (**1994/1997**) separando infraestructura y operación trenes. Se va produciendo paulatinamente en Europa esta separación: Suecia **1988 a 2001**, Alemania **1997**, etc.

En **1994** nace SFM con las líneas transferidas de FEVE dentro de Mallorca. Es la última transferencia hacia las autonomías.

Túneles ferroviarios: **1988** entre islas Honshu y Hokkaido, túnel submarino Seikan de 53,85 km. Construido con criterios de AV y con tercer carril; ancho métrico. 25 años construcción; es el túnel monotubo más largo.

**6 mayo 1994** Eurotunnel bajo el canal de la Mancha: 50,5 km; dos tubos y uno central de servicio.

**2007** túneles del Guadarrama (bitubo) 28,8 km, y el de base de Lötschberg de 34,6 km (en parte en bitubo y en parte vía única).

**2016** túnel base del Gotardo con 57,1 km siendo de momento el más largo; 18 años construcción.

En la actualidad en China, Japón y Europa existen varias construcciones y proyectos de túneles de gran longitud.



# Nuevos trenes red convencional (I)

Renegociación contratos S100 y locomotoras S252. Resultado final: de los 24 trenes, 6 se fabricaron posteriormente con ancho ibérico (Euromed). Las locomotoras 15 de ancho estándar y 60 de ancho ibérico. De estas últimas 16 se mantuvieron como bitensión y resto sólo 3 kV. Hubo diversos cambios de ancho.



En estos años modificaciones de trenes: en especial a las series 592, 593 (596), 440, 444, y 448; dotándolos de una nueva imagen tanto exterior como interior. Nuevos trenes diésel S 594 (excepción: puerta frontal incluye pupitre conducción), 598, y 599 para ir sustituyendo a los S 593, en su totalidad, y S 592 en una parte.

Ya todos los vehículos eléctricos van a ser con tracción trifásica.



# Nuevos trenes red convencional (II)

**1993/2001** S447 sucesora mecánica de S446 pero a 120 km/h, ya con tracción trifásica y control Sibas 16; 183 trenes en total.



**1994** 24 trenes S450 y 12 S451; con coches remolques dos pisos **año 90** y nuevos motores y remolques.

**2003** Civias, S 463, 464 y 465, cercanías; **2008** S 449 media distancia. Estas dos series tienen en común bogies compartidos, resultando trenes articulados.





# Nuevos trenes red convencional (III)

Material remolcado: **1999** Talgos serie 7 diurnos pendulares y ancho variable; diseño y de 220 km/h. Posteriormente pasaran a formar parte de la serie 130. Se construirán trenes nocturnos en composiciones remolcadas de Tren Hotel.



En estos años remodelación locomotoras diésel, S 319.2 y 333.3. A algunas 319,2 cambió de ancho y trabajaron en la construcción de Madrid Sevilla; posteriormente como servicio en la explotación de la línea.

Años después S 334 (2006) para viajeros y S 335 (2011) para mercancías; nuevo diseño de caja pero manteniendo la tracción con motores de continua.



# Nuevos trenes red convencional (IV)



Locomotoras eléctricas: serie dual, eléctrica y diésel, Bitrac, y S253 a 3 kV.  
Motores de tracción asíncronos, electrónica de control; transporte de mercancías.





# Normativa, seguridad ferroviaria y gestión

Años 90 empieza la normativa europea en el sector ferroviario. De esta normativa emanan las ETI => condicionan la ingeniería tanto de infraestructura como del material rodante.

**1 enero 2005** separación entre la infraestructura (Adif), y los trenes (Renfe Operadora); dentro del contexto de la normativa europea (desaparece el GIF).

**31 Diciembre 2012**, integración de FEVE en Adif y Renfe respectivamente. Esta integración ya no obedece a criterios europeos sino al interés del estado español.

Seguridad ferroviaria: se ha contemplado desde los albores del ferrocarril, pero se realizaba desde la particularidad de cada compañía ferroviaria o a lo sumo de cada estado. Lo que ha pretendido la UE es aunar los conocimientos que han ido funcionando satisfactoriamente, y así poder establecer unos métodos comunes de actuación; y a su vez seguir mejorando.

Otro aspecto que se ha sido necesario acometer, es el tema de la Accesibilidad. Ha sido necesario realizar cambios ingenieriles en la infraestructura, y en los vehículos. La normativa europea establece dos alturas de andenes: 550 y 760 mm; trenes con bogies altura piso sobre los 1.100 mm, los Talgo sobre los 760 mm. En la red estatal española se tomó la decisión de colocarlos a 680; esto supondrá un condicionante casi permanente para todos los futuros trenes.

En los aspectos de gestión se han actualizado y ampliado lo que ya se desarrolló a finales de los años 80. Cabe destacar las plataformas DaVinci (Adif), para la gestión de la circulación, y Copérnico (Renfe Viajeros), para la gestión de los trenes y su personal.



# ERTMS

Sistema común de señalización europeo: ERTMS.

El principio de funcionamiento del ERTMS es muy parecido al LZB. Se trata de enviar al tren información, puntual (nivel 1) o continua (nivel 2), del tramo de vía libre que tiene por delante y sus velocidades máximas por tramo. Con esta información el tren establece la velocidad máxima a la que puede circular.



Montaje inicial empieza en **2003** en la línea de AV Madrid Lérica; **19 mayo 2006** se pone en servicio el ERTMS en el nivel 1 a 300 km/h (por primera vez en España; y por primera vez en nivel 1 a esa velocidad).





# Líneas y trenes AV (I)

Proyecto de AV Madrid Zaragoza Barcelona a la frontera francesa en **1996** se retoman los trabajos en el tramo Calatayud a Ricla y se inician entre Zaragoza y Lérida. Año siguiente Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF): construcción de toda la línea, y las sucesivas.

**11 octubre 2003** Madrid a Lérida a 200 km/h con ASFA; en **2006** con ERTMS nivel 1, y se prolonga un poco. **Diciembre 2006** hasta Tarragona y **febrero 2008** hasta Barcelona. Hasta esta última fecha los servicios entre Madrid y Barcelona se realizaban con trenes de ancho variable; primero Talgos remolcados serie 7, luego trenes S 120, y S 130. **Febrero 2008** son ya los trenes de alta velocidad los que se hacen cargo del servicio directo.

**2003** tramo Zaragoza Huesca, **2005** conexión con Toledo. **2007** líneas Córdoba Málaga, y Madrid Valladolid. **2010** Madrid Cuenca Valencia; **2011** Orense a Santiago de Compostela (este tramo, con trazado de alta velocidad, pero se inaugura con ancho Ibérico; impide el paso de trenes de alta velocidad); también la prolongación a 200 km/h hasta Coruña.

**2013** Albacete a Alicante; primera línea sólo con ERTMS nivel 2.

**2015** Valladolid - Palencia – León; **diciembre** Olmedo a Zamora y conexión a Salamanca vía Medina del Campo, en ancho variable.



## Líneas y trenes AV (II)



Inicios **2018** servicio con trenes de AV Madrid y Castellón vía Valencia, entre Valencia y Castellón vías existentes con tercer carril.

Desde **2007** hasta hoy existen dos redes de alta velocidad no conectadas en servicio comercial: la red sur y este (desde Sevilla a Figueras), cabecera Atocha, y la norte desde Chamartín a León y Zamora. El túnel que unirá ambas ya está construido y dotado, pero sin servicio comercial.



## Líneas y trenes AV (III)

Respecto a los trenes que circulan por las líneas de alta velocidad, además de los ya vistos S100, están los siguientes:

S 103	L 200 m	V 350 km/h.
S 102/112	L 200 m	V 330 km/h.
S 104/114	L 100 m	V 250 km/h.
S 120/121	L 100 m	V 250 km/h.
S 130/730	L 185 m	V 250 km/h.

Además están los prototipos Oaris de CAF y Avril de Talgo (de este último actualmente en construcción una serie de trenes).

Citar también la serie Talgo para la Meca Medina.





# Conexiones internacionales

**8/11/2010** conexión redes española y francesa de ancho estándar; por el taller.  
**19/12** servicio comercial (transbordo) entre Barcelona y varias ciudades, y trenes de mercancías directos (3<sup>er</sup> carril). **02/2013** TGV Dasye en pruebas Barcelona-S.



Servicio internacional directo desde Barcelona y Madrid a diversas ciudades francesas **año 2013**; Barcelona a Paris en trenes 2N2H de la SnCF, y desde Madrid o Barcelona, a Toulouse, Lyon o Marsella en trenes S100F de Renfe.



Mediados **año 2014** conexión entre Vigo y Oporto (ancho ibérico) sin cambio de maquinista con automotores de la CP alquilados a Renfe. Ya existía una conexión previa, pero con cambio maquinistas en frontera.



# Panorama actual (I)

Ocaso de los trenes nocturnos. Donde hay un servicio directo de AV ha caído drásticamente la demanda y por consiguiente se han suprimido los servicios nocturnos. En algunos casos además, o en exclusiva, los servicios aéreos de bajo coste; por ejemplo los Talgos Madrid a Paris o Barcelona a Paris.

Respecto a la tracción, han evolucionado los semiconductores hacia los transistores de potencia IGBT de mucho más fácil control. Se están probando semiconductores de carburo de silicio, logrando una disminución 32 % en volumen, 16 % en peso, y 35 % en las pérdidas.

Por otro lado los motores evolucionan hacia el tipo de imanes permanentes, es decir motores síncronos. Sus ventajas son evidentes, pero requieren un tratamiento más cuidadoso respecto a sus protecciones. Así mismo el control se beneficia de los avances en la capacidad de los microprocesadores actuales pudiendo controlar más parámetros.



## Panorama actual (II)

En la actualidad existen:

Sistemas duales; eléctrico o diésel, pero uno u otro no simultáneos (son los trenes que existen actualmente).

Incipientes híbridos (con batería y uso de ambas tracciones simultáneas).

Pilas de combustible (hidrogeno); ya en servicio en Alemania. Aún con potencia moderada, pero ya está ahí, y seguirán aumentando sus prestaciones.



Pruebas experimentales con gas natural licuado en la red de ancho métrico.

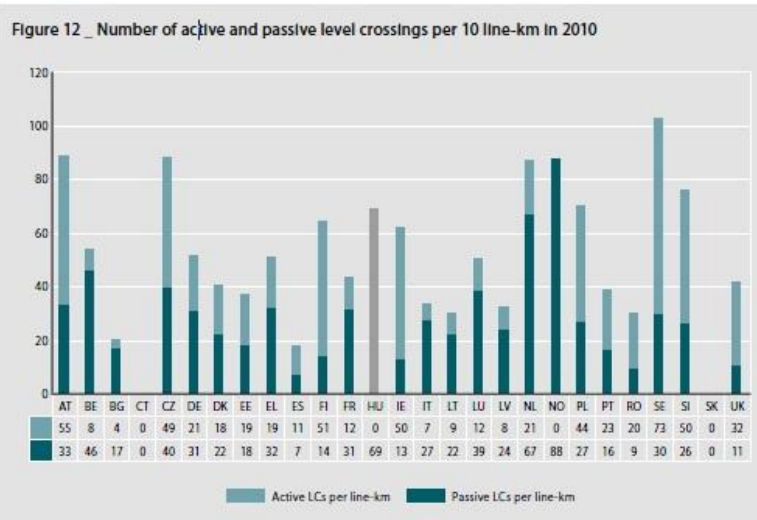
Levitación magnética al aeropuerto de Shanghái y futura línea Tokio a Osaka.

Grupos en subestaciones reversibles para recuperar la energía de frenado de los trenes (onduladores). Primera en la Red: La Comba (Málaga), y otras 12 en servicio o en proceso. Estudios y pruebas para determinar marchas de ahorro energía.



# Panorama actual (III)

Número pasos a nivel en RFIG: unos 2.300 en ancho ibérico (9.010 en **1977**) y unos 1.050 en ancho métrico (Adif año **2018**); ninguno es guardado. Pudiéndose afirmar que no existen en carreteras principales, y la velocidad de paso de los trenes es como máximo de 155 km/h; normalmente inferior a 120 km/h. Aunque todavía subsisten en núcleos urbanos un número relativamente considerable. Es el país de la UE con menor número de pasos a nivel por kilómetro de línea.



Una última fecha interesante: **26 junio 2017** cruza el primer barco por el nuevo canal de Panamá; es un portacontenedores chino ¿casualidad?...



# Futuro (I)

Sobre la alta velocidad debe hacerse una programación integral de los subsistemas, adaptada a los condicionantes de cada tramo, con mucha más profundidad que en las líneas convencionales.

La velocidad no lo es todo en las líneas de alta velocidad; prima mucho más mantener una velocidad lo más constante posible sin cambios impuestos, hacer los recorridos lo más cortos posibles. Y adaptar la infraestructura en la entrada a las ciudades, cuando no hay otra posibilidad, o establecer circunvalaciones lo más próximas posibles.

Es mucho más importante y beneficioso un incremento de velocidades bajas que un aumento de las altas; y el coste es mucho menor; aunque naturalmente “vende menos”.

En la actualidad la sociedad demanda un mayor énfasis en la gestión energética. No se puede olvidar el balance energético global; debe ser positivo: ¿Algunas de las nuevas energías o sistemas consumen más energía que la que aportan? Si fuera así, no sería una solución global y habría que limitarla a casos particulares.





## Futuro (II)

Otro aspecto es el medioambiental. No creo que en el pasado hayamos ignorado esta cuestión, pero en la actualidad es un tema primordial a tener en cuenta; en su justa medida, pero a tenerlo en cuenta.

Sobre la ergonomía en la conducción y el factor humano, comentar que antes en la conducción se tenía que dedicar mucho tiempo al estado del vehículo. Pero con la información y automatización de diversos equipos y actuaciones, ahora casi sólo hay que ocuparse de la circulación. Estos aspectos deberán ser tenidos en cuenta en un futuro inmediato.

En el futuro inmediato habrá que tener muy en cuenta la gestión masiva de los datos y todo tipo de información en el ferrocarril.

¿Iremos a menos “tecnología punta” y más ingeniería hacia el cliente?

Después de casi 200 años de existencia del ferrocarril, ¿seguiremos teniendo ferro-carril como tal, o iremos a un sistema genérico de transporte guiado? ¿Podría ser el caso del Hiperloop o algo similar?...



# Algunas reflexiones y colofón

Sobre la ingeniería en el mundo occidental decir que es necesario que ocupe un lugar mucho más destacado en la sociedad. En China la ingeniería está muy presente en todos los ámbitos de la sociedad y nadie duda del claro progreso chino.

Sobre la Ingeniería, frente a la ética y religiosidad; no nos debemos deslumbrar con tanto avance tecnológico. En primer lugar seamos personas dignas, éticas y religiosas; que es lo fundamental y definitivo de la humanidad. Luego dediquémonos a la ingeniería de lleno, pero sin perder la mirada en lo anterior.

Habría muchos más aspectos a considerar sobre la ingeniería ferroviaria y los diferentes avances tecnológicos, pero excede el objeto de este ciclo de tres conferencias. Por eso le paso el testigo a los más jóvenes para que sigan completando la historia ingenieril del ferrocarril y para que puedan desarrollar, completar y mejorar lo aquí expuesto. Y así sigan escribiendo sobre lo que está por suceder.....



ASOCIACIÓN DE  
INGENIEROS  
DEL ICAI  
Servicio Jubilados

# Muchas gracias por vuestra presencia y atención