

***EL NACIMIENTO, CON PARTO ALGO DISTÓCICO,
DE LA ALTA VELOCIDAD
FERROVIARIA ESPAÑOLA***

***Elías García González
Prof. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos***

Madrid, junio de 2.007

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.
2. EL CONCEPTO PRECISO DE LA ALTA VELOCIDAD EN EL PRESENTE CONTEXTO.
3. CÓMO SE LLEGA A LA FECHA DE 20.4.1992.
 - 3.1. El P.L.P. (Plan a Largo Plazo 1.980 – 1.991). El emergente, la alta velocidad, se insinúa.
 - 3.2. El estudio de la Variante Puertollano – Córdoba. El emergente, el concepto de alta velocidad, se hace presente de rondón.
 - 3.3. El Plan General Ferroviario es un Plan del Estado, que no ve con buenos ojos al emergente, la alta velocidad, porque es muy cara.
 - 3.4. Tres decisiones del Gobierno. Un noviazgo (200 km/h), unos esposales (250 km/h), y un amor eterno (300 km/h).
4. BREVES COMENTARIOS SOBRE ALGUNOS PARÁMETROS IMPORTANTES
 - 4.1. Sobre la vida útil de una infraestructura ferroviaria de financiación pública.
 - 4.2. Sobre las velocidades a considerar en los próximos años.
 - 4.3. Radios de las alineaciones circulares
 - 4.4. Pendientes de las alineaciones en alzado.
 - 4.5. Sección transversal de los túneles
5. COMENTARIOS LAUDATORIOS SOBRE EL FERROCARRIL
 - 5.1. Méritos económicos
 - 5.2. Planteamiento de un escandaloso problema de inseguridad y atisbo de soluciones.
 - 5.3. Sugerencias para resolver/paliar el problema de forma significativa.
6. NOTAS SOBRE CUESTIONES DIVERSAS TRATADAS EN CAPÍTULOS ANTERIORES.
 - NOTA 1. Sobre la paradoja de Aquiles (el de los pies ligeros) y la tortuga.
 - NOTA 2. Sobre la importancia del tráfico peatonal.
 - NOTA 3. Radios de las alineaciones circulares necesarios para las prestaciones de planes futuros.
 - NOTA 4. Un libro muy relacionado con los avatares de la Alta Velocidad Española, AVE.
7. DOCUMENTOS REDACTADOS POR EL AUTOR, RELACIONADOS CON LAS GRANDES VELOCIDADES FERROVIARIAS.

EL NACIMIENTO, CON PARTO ALGO DISTÓCICO, DE LA ALTA VELOCIDAD FERROVIARIA ESPAÑOLA

RESUMEN. La primera vez que tropiezo, en mi vida profesional, con la frase alta velocidad, en un documento de cierto fuste, fue el año 1978, cuando el gobierno español encarga a la RENFE la redacción de un plan de inversiones a largo plazo encaminado a aumentar la participación del ferrocarril en el tráfico de viajeros y de mercancías. Y la mencionan sólo para decir que la alta velocidad había sido desestimada, al compararse con otra alternativa más económica con velocidades en la gama de 120 a 160 km/h. Al desarrollar el plan y analizar las actuaciones sobre la vía resultó que, en ocasiones, la afectación a la explotación por las obras era tan grande que resultaba obligado hacer variantes de nuevo trazado de cierta importancia. Debido a la larga vida útil esperada de las líneas de ferrocarril, convenía que éstas variantes fuesen diseñadas para mejores prestaciones de las establecidas en ese plan. Estas circunstancias se daban en el eje ferroviario Madrid – Sevilla, en el cual, haciendo una variante a la salida de Madrid, para conectar con la línea de Badajoz, modificando esta línea de forma no dramática hasta Puertollano, y haciendo una gran variante entre Puertollano y Córdoba, se conseguía un nuevo encaminamiento para gran parte del tráfico, sobre todo de viajeros, entre la Meseta y Andalucía, lleno de ventajas. Este planteamiento fue aceptado y, al desarrollarlo, junto a otros factores concomitantes (Feria Universal de Sevilla en 1.992, por ejemplo) se decidió su ejecución con parámetros de línea de alta velocidad. Y así se hizo, iniciándose la explotación de la primera línea AVE española el día 20 de abril de 1992, hace 15 años, con un éxito manifiesto. Contamos el proceso, algo atormentado, que condujo a este final feliz.

1. INTRODUCCIÓN.

El día 20.04.1992 se inauguró la explotación comercial de la línea de alta velocidad, de nueva construcción, Madrid – Sevilla, recorrida con velocidades de hasta 250 km/h. El tiempo de recorrido por la antigua línea, con el tren más veloz de la época (tren Talgo) era de 5h.52m., y por la nueva 2h.55m. Se ahorran, cada viajero y en cada viaje, prácticamente 3 horas. Han transcurrido 15 años desde entonces, y el AVE más rápido actual, con velocidades de hasta 300 km/h, hace el recorrido en 2h20m, por lo que el ahorro es de 3h32m

Esta espectacular ganancia de tiempo se ha conseguido, en esta relación singular, actuando sobre los dos medios básicos de producción de la función transporte, el camino (la vía) y el vehículo (el tren). El camino antiguo era bastante o muy desfavorable, pues gran parte del trazado en planta no permitía (por los radios reducidos de sus curvas) las velocidades de los trenes de la época (dominaban los 120 km/h) y, además, era de vía única en gran parte del recorrido lo que obligaba a esperas, desesperantes en muchísimas ocasiones, para hacer posibles los cruces y los alcances. Y afectaba muy gravemente a la capacidad de la línea, que podía considerarse totalmente saturada.

La duplicación de la vía, y la mejora sustancial del trazado, están en la base de parte del ahorro en el tiempo de viaje. Si se hubiese duplicado la vía antigua, y se hubiesen realizado variantes locales de trazado para permitir la circulación de trenes a 160 km/h, de modo que la longitud del camino prácticamente no variase (574 km) resultaría un tiempo teórico de viaje de 3h.35m, resultando un ahorro de 5h.52m-3h35m = 2h.17m. Esta cifra es sumamente atractiva. Lástima que las precauciones necesarias para realizar las obras de duplicación de la vía y de la rectificación de las curvas que conducirían al trazado capaz de los 160 km/h supondrían, en la práctica, el cierre de la línea durante los varios años que durarían las obras.

Estos 15 años transcurridos desde la inauguración del AVE Madrid – Sevilla lo han sido de una manera que es difícil no calificar de sobresaliente.

- **Comercialmente** las cosas han ido muy bien, porque la explotación se inició con 13 trenes en cada sentido y, en la actualidad, son 22 (casi el doble).

- La **puntualidad** de los trenes es proverbial

- El **precio del billete** es una ganga desde el punto de vista empresarial. La clase más utilizada (turista) cuesta unos 72 euros (12 mil pesetas), que es del orden de la facturación de la hora de un técnico o directivo de nivel no muy elevado, frente a las 3h.32m que se ahorran respecto a la época previa al AVE. Para otros sectores de la población el coste es poco favorable, netamente caro o muy caro.

- La **afectación al medio ambiente** es netamente inferior a la del modo carretero: contaminación química prácticamente nula, mínima intrusión acústica.

- Nivel de **seguridad** insuperable: ni una sola muerte en los 15 años de explotación.

La aceptación que se aprecia de esta modalidad del transporte ferroviario en amplios sectores de la población se traduce en la reclamación que los políticos regionales hacen con frecuencia de la inclusión de sus ciudades en la lista de las líneas a implantar en el futuro inmediato. Ya desde el primer año de funcionamiento reclamaban la mayoría de las Comunidades Autónomas la alta velocidad para sus territorios. Y es que el proverbio de que “time is money” es cada vez más realidad, y el transporte rápido que facilitan las líneas de alta velocidad ayudan a economizar el despilfarro de esa cosa tan valiosa como es el tiempo para ciertas personas. Y qué decir de los alucinantes niveles de seguridad alcanzados, en la misma tónica de los que son normales en trenes convencionales y de menor velocidad. Entre los trenes antiguos, y los de toda la vida, se puede eliminar, o disminuir drásticamente, el despilfarro de vidas que va asociado al modo carretero de transporte. De esto hablaremos también más adelante.

En una entrevista de la revista Vía Libre (abril 1993) a la presidenta de RENFE, Merce Sala, con motivo del primer aniversario de la puesta en servicio del AVE Madrid – Sevilla, confesaba que el éxito obtenido (y que los técnicos preconizaban) era notablemente superior a lo esperado. Hasta el punto de que el corredor de largo recorrido Madrid – Sevilla es el único en el que el ferrocarril pasó a ser hegemónico frente a la carretera y el avión, pasando de una cuota de mercado de un 20% (que ya era alto) a un 45 %. Comenta cómo “ ... en su momento la prensa reflejó también el escepticismo que seguramente mantenía una parte de la empresa “.

2. EL CONCEPTO PRECISO DE LA ALTA VELOCIDAD EN EL PRESENTE CONTEXTO.

Cada modo de transporte histórico (salvo seguramente el de los semovientes, personas y animales, que suelen tener velocidades de movimiento muy constates) tiene en cada época y en cada país una velocidad de explotación característica, acorde con sus posibilidades técnicas y económicas. La velocidad de los países que la tienen más elevadas, suele denominarse alta velocidad de esa época. Antes de ocuparnos de la alta velocidad ferroviaria vamos a comentar algunas cosas sobre los semovientes, unas curiosas y otras que pueden ser importantes.

2.1. Empezaremos con **la tortuga**, semoviente anfibio que se desenvuelve como puede en un medio terrestre y mucho mejor en uno marino. A pesar de las escasas habilidades de la tortuga sobre tierra, según los argumentos del antiguo filósofo griego Zenón de Elea, que puso en serios apuros a todos los pensadores de su época, y a muchos posteriores, la tortuga sería el semoviente más rápido del mundo, y más que todos los trenes de alta velocidad actuales.

Este argumento, paradoja según otros, se denomina como el de Aquiles (atleta de élite de la época, siglo 4 a.C.) y la Tortuga. Zenón argumenta de la forma siguiente. Si ambos inician una carrera, con una cierta ventaja inicial de la Tortuga, Aquiles nunca podría alcanzarla. Porque si inicialmente Aquiles se encuentra en A y la tortuga en B, cuando Aquiles llegue a B ya la tortuga estará en C. Y cuando Aquiles llegue a C la tortuga estará en otro punto D. Y así sucesivamente.

No hace falta decir que la conclusión de la argumentación era errónea, porque hay una comprobación experimental sencilla y económica de ello. Más difícil es demostrar que la argumentación es incorrecta. Seguramente por esto, en la moderna investigación de temas difíciles de todo tipo, con fases teóricas complejas, no se considera firme una afirmación hasta que no hay una comprobación experimental de la misma. Afortunadamente en la versión ferroviaria del problema (un tren de alta velocidad nunca alcanza a uno de mercancías) también la comprobación experimental de la falsedad es sencilla y económica. Claro que, si la competición Aquiles – Tortuga fuese anfibia (lo cual no nos consta), iniciándose en las proximidades del mar, con toda seguridad ganaría la tortuga, aunque ésta concediese a Aquiles una fuerte ventaja inicial. Porque, según los expertos de la estación Biológica de Doñana y de la Universidad Autónoma de Barcelona, miles de ejemplares juveniles de tortugas nacidas en Florida migran a las costas españolas, tras un viaje de varios miles de kilómetros, donde permanecen hasta alcanzar la madurez sexual, volviendo de nuevo a Florida para reproducirse. No creemos que Aquiles, que seguramente era buen nadador, alcanzase nunca a la tortuga. En la **NOTA 1** se hacen algunos comentarios complementarios.

2.2. Otros semovientes notables, de enorme transcendencia económica y social (como veremos enseguida), somos todas **las personas** en edad y condiciones de andar sin ayudas de los demás. Llamaremos tráfico, o modo, peatonal de transporte a este tipo de (auto)desplazamiento de las personas. En la **NOTA 2** se hace una estimación grosera pero muy significativa, de las unidades de tráfico anual de este modo de transporte, en términos de viajeros (ViajeroxKilómetro = VK) y de cargas (ToneladaxKilómetro = TK), suponiendo que cada persona hace un recorrido diario a pie de 1 km, y se comparan con las unidades de tráfico de la RENFE en un determinado año del que tenemos datos fácilmente accesibles (1982). Los resultados son los siguientes (M es abreviatura de Millón):

- Tráfico de mercancías de RENFE	8.119 MTK
- Tráfico de viajeros de RENFE (Largo recorrido, Regionales, Cercanías)	14.703 MVK
- Tráfico peatonal anual estimado (autodesplazamiento)	12.000 MVK
- Tráfico peatonal anual estimado (autocarga)	600 MTK

Vemos que el tráfico potencial peatonal anual, suponiendo un ritmo de movimiento diario muy moderado, de 1km/persona al día, es del mismo orden de magnitud que el tráfico anual de viajeros de RENFE en las tres modalidades (cercanías, regionales y largo recorrido). Una terapia cómoda, sencilla y barata para luchar contra las secuelas del sedentarismo al que conduce la presente (in)civilización, frecuentemente recomendada por los médicos, es precisamente el recorrer a paso vivo 2 kilómetros diarios, lo que aplicado a la población total española capaz de hacerlo arroja una cifra anual de tráfico peatonal de unos 24.000 MVK. Es decir, que el modo de transporte peatonal, que pasa normalmente desapercibido, es muy importante, tanto como las cifras de negocio de la mayor empresa ferroviaria española. Naturalmente que tras estos 24.000 millones de VK están los que venden bicicletas (poco que objetar, salvo el gran riesgo asociado), motos (mucho que objetar), y coches (todo que objetar, como ya explicaremos en otro capítulo).

2.3. Otro tipo de semovientes, muy importantes en todas partes, y básicos antes del invento del automóvil y demás vehículos motorizados, lo forman el conjunto de **los animales** de carga (burro, caballo, buey, camello,...). Ahora solamente son básicos en algunos países de escaso desarrollo económico. Antes recaía sobre ellos todo el peso de la actividad económica y gran

parte de la militar. Alguno de ellos, como el caballo de non Quijote y el burro de Sancho, gozan de más fama que la mayoría de los grandes de este mundo, merced a la fama y singularidad de sus inigualables amos.

En todos los tipos de semovientes citados el parámetro más característico de la función transporte, la velocidad, ha variado poco a lo largo del tiempo. Hubo a lo largo de la historia carreras de competición entre todos ellos. Pero la velocidad de explotación en todos los casos no se veía afectada por la de los vencedores. Podemos decir que los semovientes, personas o animales, se mueven con velocidades que varían de forma inapreciable con el tiempo. Todo lo contrario de lo que ocurre con los modos carretero y ferroviario, que son los dos más normales de los actuales modos de transporte terrestre. A continuación volvemos sobre el modo ferroviario, en el que sí que repercuten las velocidades record obtenidas en pruebas de tipo experimental, sobre las posteriores de explotación.

2.4. Las velocidades de **los trenes**, al contrario de lo que ocurre con la de los semovientes, sí que varían, y de forma muy acusada, a lo largo del tiempo. Una pista de la importancia de esa variación la tenemos pensando que, en la actualidad, se circula con normalidad en ciertas redes (RENFE entre ellas) a 300 km/h, siendo así que el ferrocarril nació, hace unos 200 años, con una velocidad marginal. Suponiendo una variación lineal con el tiempo resultaría un crecimiento anual de la velocidad de $300\text{km/h}/(200 \text{ años}) = 1.5 \text{ km/h/año}$. Con este ritmo de crecimiento, si queremos que dentro de 100 años siga siendo muy útil una línea construida hoy, tendremos que pensar en que las velocidades a considerar serán las de hoy incrementadas en 150 km/h. O sea de 450 km/h. Lo cual, evidentemente, da mucho que pensar. Pues las velocidades condicionan muy fuertemente algunas de las características de los trazados y de las infraestructuras en general.

Comentaremos ahora algo sobre las consideradas como “altas velocidades”. En el año 1968 se celebró un Congreso de los que organizaba la A.I.C.C.F. (Ass. Int. du Congres. des Chem. de Fer.) con cierta regularidad. El tema central del mismo era el de las altas velocidades ferroviarias, indicando para éstas las de 120 km/h y mayores. Nadie diría hoy que los trenes de 120 km/h son trenes de alta velocidad. Los de esa época más veloces eran los de la recientemente estrenada línea del Tokaido (1.964), con velocidad de 200m km/h. Probablemente algunos congresistas dudarían de que los trenes de 120 km/h fuesen de alta velocidad, pero seguramente ninguno dudaría de que los de 200 km/h sí que lo eran. En la actualidad las cosas han cambiado. Algunos creen que los 200 km/h representan la alta velocidad, y la mayoría asocia ésta con los 250 km/h y superiores. En mi búsqueda de una definición de este concepto, en el marco de los estudios para definir las “Recomendaciones para dimensionar túneles ferroviarios por efectos aerodinámicos de presión sobre viajeros” del Ministerio de Fomento, llegué a la conclusión (**DOC.28**, 2001) de que, de la Directiva 96/48/CE del Consejo de la Unión Europea relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad, puede deducirse que se considera como límite inferior de alta velocidad la de 250 km/h.

En la ficha UIC 779-11 OR (1995) sobre la obtención del área de la sección transversal de los túneles ferroviarios teniendo en cuenta los efectos aerodinámicos, se indican dos tipos de trenes:

- trenes modernos de tipo convencional, en la gama de velocidades 180 – 220 km/h
- trenes de gran velocidad carenados, en la gama de velocidades 200-350 km/h

Sobre un documento más reciente, que tiene en cuenta el nivel de estanqueidad de los trenes para definir la sección de los túneles, seguramente informará cabalmente D. Antonio Lozano, promotor y líder de los equipos (de la UIC y del ERRI) encargados de su redacción.

Resumiendo diremos que, en realidad, el concepto de alta velocidad es impreciso. Lo que importa, no obstante, es conocer la influencia de la velocidad (independientemente del

calificativo que se le adjudique) sobre los elementos que componen una vía de moderna construcción (trazado, explanaciones, puentes, túneles, ...). Y ese conocimiento existe, afortunadamente, en general y con precisión suficiente para dimensionarlos de manera adecuada. Eso es lo que más importa.

3. CÓMO SE LLEGA A LA FECHA DE 20.4.1992.

La RENFE, hasta el año 1978, era una empresa con una infraestructura que “ya estaba hecha, era una herencia del (glorioso) pasado”. Por lo tanto la ingeniería que necesitaba era fundamentalmente la necesaria para la conservación de sus elementos constitutivos (puentes, túneles, explanaciones, fundamentalmente). Sólo ocasionalmente era necesario proyectar alguna variante de menor fuste (accesos a alguna factoría industrial importante, supresión de algún tramo con excesivas pendientes,...), lo cual no exigía estar muy al tanto de las novedades que exigían el proyecto y la construcción de nuevas líneas, alguna de ellas ya en explotación (línea del Tokaido, en Japón, desde 1964, para velocidades de 200 km/h) y otras en proyecto o ejecución, en Japón y en Europa.

3.1. El P.L.P. (Plan a Largo Plazo 1980 – 1991). El emergente, la alta velocidad, se insinúa.

El 8 de noviembre del año 1978 (hace ya unos 30 años) la RENFE encarga a todas sus direcciones la participación en la elaboración de un “**Plan a Largo Plazo, (1980 – 1991)**” (P.L.P), para iniciar una acción rupturista que cambiara la tendencia al estancamiento de los tráficos, ya que si todo seguía igual, en el mejor de los casos éstos serían en el año 2.000 casi los mismos de 1978. El nivel de rupturismo de este Plan venía a priori bastante limitado, porque se señalaba a las direcciones involucradas en su desarrollo, que se habían analizado dos alternativas:

- 1) Importante mejora dentro de lo que es un ferrocarril convencional
- 2) Red de alta velocidad

y que se había optado por la primera.

Por si quedaba alguna duda sobre el alcance de las actuaciones a desarrollar y evaluar, se indicaba que la RED ARTERIAL (el conjunto de las líneas más importantes de la Red, con unos 3500 km de longitud, de los 13.200 m que conformaban el total), en la que se harían las mejoras más importantes, quedaría con gran capacidad (todas equipadas de doble vía) y apta para alcanzar velocidades de 160 km/h y mínimas de 120.

Hacemos mención de este Plan en la presente comunicación, que trata del nacimiento en España de la alta velocidad ferroviaria, porque es el primer atisbo de que la alta velocidad podrá entrar en el grupo de alternativas a contemplar en algún Plan posterior, aunque en éste se rechaza.

En Febrero de 1979, es decir tres meses después del encargo, se entrega el documento que define, para cada línea de la Red, las actuaciones concretas, su evaluación económica, los plazos de ejecución y una estimación de las precauciones a implantar en la circulación como consecuencia de las numerosas obras e instalaciones a que dará lugar el desarrollo del Plan.

En la relación Madrid – Sevilla se consideraba la duplicación de vía en todos los tramos que aún lo eran de vía única, variantes puntuales para dejar todo el recorrido apto para, al menos, la velocidad estrella (160 km/h) del Plan. Y, en la zona de Despeñaperros (que era de vía única) entre Santa Cruz de Mudela y Linares, se proponía una Gran Variante. Por una razón muy sencilla, el hacer variantes locales en esa zona de vía única, con muchos túneles, equivalía a

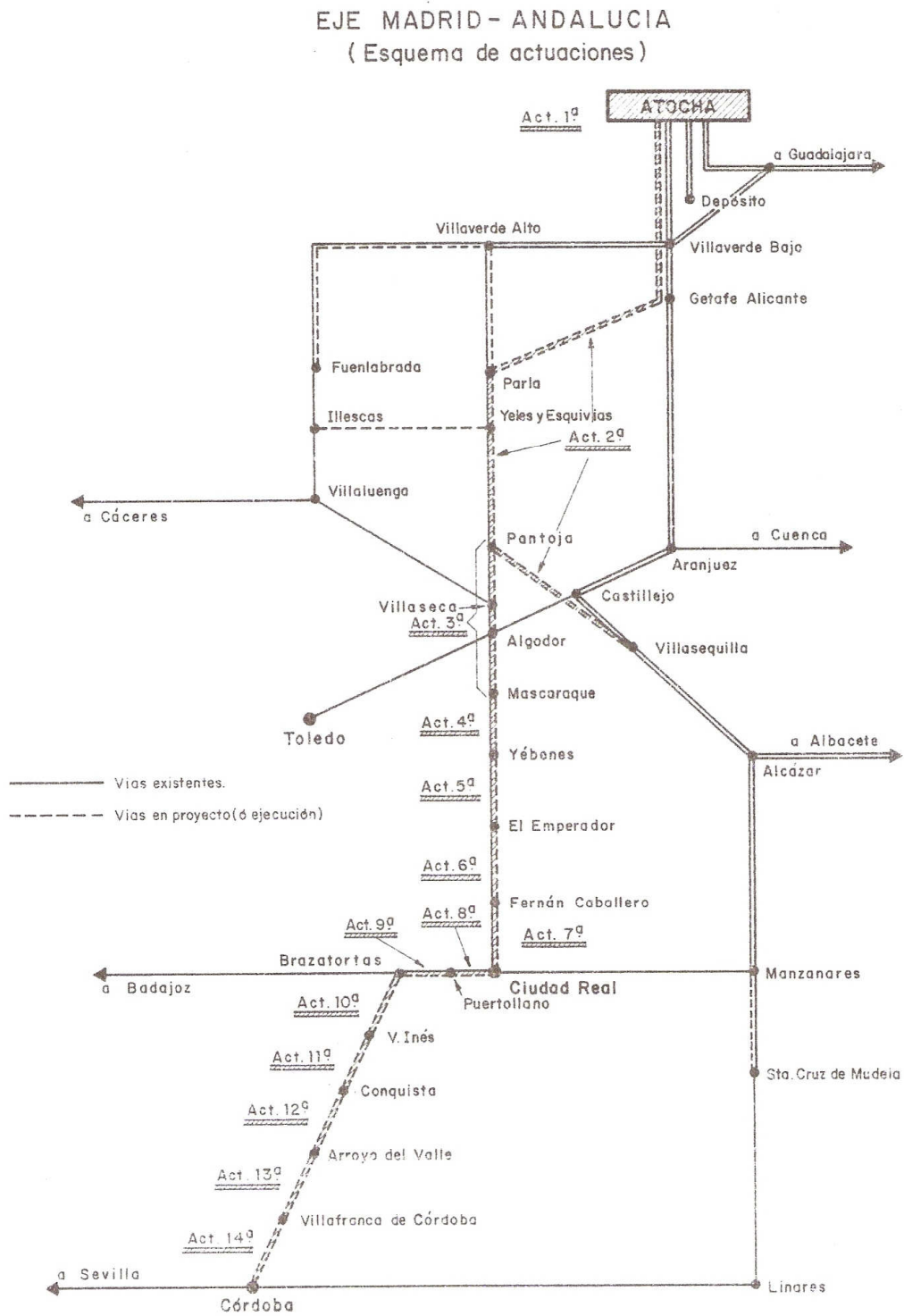
cerrar la línea durante los varios años de ejecución de las obras. Lo cual iba en contra de la filosofía del Plan, tendente a aumentar la capacidad de las líneas que estaban más solicitadas por la demanda, y ésta era una de ellas. En realidad, en el marco de actuaciones anteriores al P.L.P., ya se habían anteproyectado la duplicación de vía en otros tramos, algunas variantes locales y esta Gran Variante.

Porque era necesaria esta variante importante, y por otras razones que no son del caso, las Direcciones de RENFE más próximas a la Explotación y a la Planificación, con la asesoría del Gabinete de Proyectos, buscaron alternativas de encaminamiento del tráfico Madrid – Córdoba – Sevilla distintos al de Madrid – Aranjuez – Alcázar – Manzanares – Santa Cruz de Mudela – Linares – Córdoba. Encontrándose la solución en el aprovechamiento de la línea existente de Madrid – Badajoz (mejorada) desde Parla hasta Brazatortas, lugar próximo a Puertollano, complementada con nuevos trazados entre Parla y Atocha (poco conflictivo) por el lado Madrid, y Brazatortas – Córdoba (totalmente conflictivo), por el lado Sevilla. La figura de la página siguiente es un esquema de las actuaciones recomendadas en enero de 1980 para cumplir los plazos necesarios para la definición de puntos fijos y otros condicionantes, estudios de alternativas, anteproyectos y proyectos previos a la iniciación de las obras del nuevo encaminamiento. Este plazo se acababa en Diciembre de 1980. Y en ella pueden apreciarse de manera muy simplificada los dos encaminamientos mencionados, Madrid – Aranjuez – Alcázar – Manzanares – Linares -- Córdoba, evaluado en el P.L.P., y el alternativo Madrid – Parla – Ciudad Real – Puertollano --Brazatortas –Córdoba, que era necesario evaluar cuidadosamente, porque seguramente sería más costoso, pero tenía enormes ventajas sobre el otro, de las cuales dos de las más importantes eran la ninguna perturbación a los tráficos establecidos, y ahorros de tiempo de viaje por un doble motivo, menos longitud del trazado y por la posibilidad de garantizar en todo el recorrido las velocidades estrella del Plan (160 km/h).

3.2. El estudio de la Variante Puertollano – Córdoba. El emergente, el concepto de alta velocidad, se hace presente de rondón.

A los pocos meses de la redacción del P.L.P. este plan pasó a llamarse P.G.F. (Plan General Ferroviario) no cambiando nada en todo lo demás, ni objetivos, ni plazos, ni contenidos. Ya con este nuevo nombre en julio de 1979 redactamos un documento (**DOC.2**) titulado Plan General Ferroviario (1980/1991). Variante Puertollano – Córdoba, en el que hacíamos una propuesta de emergencia, sobre cartografía 1:50.000, de un posible trazado de la variante que antes hemos denominado de “Brazatortas – Córdoba”, que era la obra más significativa y costosa del nuevo encaminamiento, alternativo al incluido en el P.L.P. La comparación entre costes, ventajas e inconvenientes de ambos encaminamientos servirían para decidir cual de los dos se construiría.

Esquema de actuaciones en el nuevo encaminamiento Madrid – Ciudad Real – Córdoba:



En relación con el tema central de esta comunicación, que es aclarar el nacimiento en España de la alta velocidad ferroviaria, señalaremos solamente dos datos. El primero es que las curvas circulares del trazado lo hicimos usando radios de 2000 m en todo su recorrido, salvo en tres de ellas con radios mayores. Este trazado permitiría, por lo tanto, circulaciones con una velocidad constante de unos 200 km/h (el P.L.P. o P.G.F. apuntaba a velocidades entre 120 km/h y 160 km/h). Y las pendientes del trazado resultaron más variadas hasta un máximo de 15 milésimas, que es el mismo del antiguo trazado heredado del pasado.

En una famosa reunión de las 6 direcciones de RENFE involucradas en esta cuestión, con la participación de 14 representantes de las mismas, con las máximas cualificaciones técnicas y administrativas, el día 13 de julio de 1979, una vez examinada la documentación pertinente a los dos encaminamientos que hemos descrito, acordaron por (rara) unanimidad recomendar a la Dirección General la aprobación de la alternativa que incluía la Variante Brazatortas – Córdoba. Y ello porque, a pesar de que esta solución podría ser un 25 % más cara que la otra, sus ventajas eran tan claramente abrumadoras, que los presentes consideraban que la ejecución de esta alternativa podía resultar probablemente la realización más espectacular de cuantas se contemplaban en el Plan General Ferroviario, que, además podría realizarse en un plazo menor, antes de 4 años a partir de la toma de decisión.

Los radios de 2.000 m contemplados en el estudio de la Variante de Brazatortas – Córdoba de 1979 son compatibles con circulaciones a 200 km/h. Y, según se indica en el punto 6, NOTA 3, esta velocidad podría considerarse hoy como de alta velocidad, pero en el año 1979 esa calificación era obligada, pues los únicos trenes de nuevo diseño, circulando por vías nuevas construidas para esa velocidad (210 km/h, con mayor precisión) circulaban en la línea japonesa del Tokaido, inaugurada en el año 1964, con radios de las curvas de 2.500 m (**DOC. 6**). También se circulaba ya, con trenes más o menos convencionales, pero por líneas antiguas, algo retocadas, a la velocidad de 200 km/h (Francia, Alemania) y a 201 km/h en Inglaterra.

Podemos afirmar por lo tanto, que en el año 1979, la alta velocidad irrumpe en el ámbito de las velocidades posibles del futuro, sin ningún rechazo formal por parte de ningún estamento de RENFE. Más bien con el aplauso de todos o, por lo menos, de muchos.

3.3. El Plan General Ferroviario es un Plan del Estado, que no ve con buenos ojos al emergente, la alta velocidad, porque es muy cara.

Ya se advertía, desde el primer día que se lanzó el P.L.P. (o P.G.F, Plan General Ferroviario, como se denominó después), que ese plan no era un plan interno de RENFE, que era un Plan del Estado para los ferrocarriles. Lo que significaba, entre otras cosas que en muchas ocasiones las aprobaciones de ideas, sugerencias, novedades,... especialmente si implicaban incrementos de costes, pasarían no sólo por la criba de RENFE, sino también por la del gobierno a través de los ministerios responsables del seguimiento del Plan. Naturalmente que, para lidiar con estas cuestiones, se designaron los organismos y personas responsables correspondientes.

Esta circunstancia se manifestó pronto al tratar de fijar los parámetros, principalmente de infraestructura, a utilizar en las nuevas Grandes Variantes a proyectar en el marco del P.G.F. Porque, además de la Variante de Brazatortas – Córdoba, de unos 120 km según mi tanteo de 1979, y de unos 110 km según el proyecto, había bastantes más, hasta totalizar 565 km, según las cifras del P.L.P (variantes de Pajares, Orduña, Lodosa – Miranda, Gerona – Celrá,.....).

A la vista de la relación de documentos que redactamos en el año 1980 (**DOC.3,4,5,6,7**), todos los cuales se refieren a la definición de los parámetros de infraestructura, principalmente de los nuevos trazados que, como las Grandes Variantes, habían surgido en el P.G.F., se aprecia que durante ese año se estudió a fondo la cuestión, pues además de aportaciones personales, como las de los **DOC.3,4,5,6**, se aprecian otras que involucran a varios organismos.

Evidentemente el nacimiento de la alta velocidad estaba totalmente supeditada a la mayor o menor generosidad de estos parámetros. De poco serviría disponer de trenes capaces de circular a 250 km/h si los radios de las curvas del trazado construido solamente permitían los 160 km/h.

Conocíamos bastante a fondo la experiencia de las fases de estudio, proyecto, construcción y explotación de las nuevas líneas japonesas, francesas, italianas y alemanas, y otras menos relevantes. Y también conocíamos algunos de los errores de bulto cometidos por nuestros predecesores. Parece elemental que no podíamos caer en España en errores que ya se conocían, y sus consecuencias. Por ejemplo, ahora ya se tiene en cuenta, de manera consciente, cual es la vida útil esperada para cualquier infraestructura de cierto rango, ya sea de iniciativa privada o pública. En el caso de las ferroviarias de financiación pública cada vez es más frecuente contar con una vida útil de unos 100 años. Y tenemos ejemplos en España y otros países de líneas férreas cuya infraestructura se ultimó, pero no llegó a utilizarse nunca. Otras que se pusieron en explotación, pero han tenido (o tienen) una vida lánguida porque se construyeron con unos parámetros a todas luces impropios para la vida útil que se esperaba de ellas. Es el caso de la línea Madrid – Aranda – Burgos, terminada en 1968, pero con un viejo trazado que apenas permitía velocidades de 100 km/h, y que 25 años después (1993) sólo la usaban cuatro trenes al día, de los cuales sólo uno paraba en todos los pueblos o ciudades por los que pasaba (23, en un recorrido de 364 km).

Más chocante es el caso de la primera línea japonesa de alta velocidad, entre Tokio y Osaka (línea del Tokaido), de la cual tenemos datos de 9 de los parámetros usados en su proyecto (DOC.6, anejo 2). Los correspondientes a tres que consideramos básicos, radios mínimos de las alineaciones circulares, R, pendientes máximas del trazado, i, y distancia entre ejes de las dos vías, E, son los siguientes:

$$R = 2.500 \text{ metros} \qquad i = 15 \text{ milésimas}, \qquad E = 4.2 \text{ metros}$$

En la línea del San – yo, que es la prolongación de la anterior hasta Hakata, cuyas obras se iniciaron **tres años después**, se modificaron (mejorándolos) todos los 9 parámetros, siendo los que corresponden a los tres señalados anteriormente:

$$R = 4.000 \text{ metros} \qquad i = 12 \text{ milésimas}, \qquad E = 4.3 \text{ metros}$$

En este caso la imprevisión es manifiesta pero seguramente disculpable, porque eran pioneros en estas lides. En nosotros, con el conocimiento de la experiencia acumulada por las demás empresas ferroviarias más o menos pioneras, los errores de planteamiento serían imperdonables. Pero como la mayoría de las mejoras de los parámetros suponían un incremento de los costes más o menos formalmente pactados con el gobierno, las perspectivas de éxito para conseguir las mejoras de los nuevos trazados que surgían con naturalidad al desarrollar el P.G.F., sin mala o solapada intención, eran escasas.

Ante esta perspectiva redactamos un primer documento (**DOC.3**, marzo de 1980), que contenía, según su título, unas notas para una propuesta de fijación de los parámetros de infraestructura y gálibos de obra con mayor trascendencia económica, a tener en cuenta en los anteproyectos y proyectos de todas las obras contempladas en el P.G.F. También incluía algunas recomendaciones bastante argumentadas para todos los parámetros considerados en el documento (7 en total), que eran los radios mínimos de las alineaciones circulares en planta, las pendientes máximas en alzados, las entrevías, y los gálibos de obra que se referían a las secciones tipo de plataforma en desmonte y terraplén, gálibos de paso sobre el ferrocarril, y gálibo de túneles de vías doble y de vía sencilla. Las recomendaciones principales, las de radios mínimos, R, pendientes máximas, i, entrevías, E, y sección libre de los túneles de vía doble, A, referidas a los trazados nuevos en líneas de la Red Arterial, eran las siguientes:

R = 2.000 m en zonas montañosas R = 3.000 m en zonas poco movidas

i = 12 milésimas

E = 4.4 metros

A = 71.4 m²

Este documento se envió a todas las direcciones de la red, para su análisis, crítica y observaciones. La mayoría de las mismas mostraron su acuerdo, con algunas observaciones de limitado alcance. Sólo, y por razones obvias, la dirección encargada de la conexión con el gobierno, mostró reticencias y objeciones de importante calado. La argumentación dominante para las objeciones de esa dirección era la siguiente: Si no existiesen limitaciones presupuestarias los parámetros propuestos podrían considerarse idóneos, pero probablemente dejen de serlo al tener que respetar las inversiones pactadas con el gobierno en cada tramo.

Al menos con el documento que comentamos se puso de manifiesto la conformidad inicial de la RENFE con estas recomendaciones. Ya “sólo” quedaba convencer al gobierno de lo razonable de este planteamiento. Para facilitar esta tarea, y para definir otros parámetros importantes pero de menor trascendencia económica que los del documento anterior, redactamos otro nuevo, pero referido a los nuevos trazados exclusivamente. El estudio resultó extenso y lo componen los **DOC:4,5,6** de la lista de documentos incluidos en el punto 6 de esta comunicación. Los parámetros incluidos en este estudio son 17, frente a los 7 del **DOC.3**. Aunque la parte sustantiva del mismo, a los efectos de esta comunicación, se encuentra en el **DOC.4** que es la Memoria del estudio. De ella tomamos algunos de los argumentos utilizados para justificar no sólo la conveniencia de utilizar unos parámetros generosos, sino casi la obligación de hacerlo, para no abortar la idea matriz del Plan, ya que el estado había tomado la decisión de iniciar una acción rupturista (o sea no continuista), para evitar el colapso de la Red al cabo de unos 20 años.

1. Los nuevos trazados inician su vida útil, presumiblemente centenaria, con este Plan General Ferroviario, pero no acaban con él. Deben diseñarse, por lo tanto, para satisfacer las exigencias de este Plan pero también las de algunos Planes futuros. Esta es la situación que se les ha presentado a otras administraciones y así la han resuelto. Y las que, en una primera actuación, se quedaron cortas rectificaron en las siguientes. Hemos de aprovecharnos de estas experiencias ajenas y no caer en los errores en que ya cayeron otros.

2. Debe ser muy difícil explicar a un país la obsolescencia de un trazado a los 10 o 15 años de su construcción. Y no es presumible que un Parlamento admita el argumento de que no se hizo una solución mejor porque costaba un 3, un 5 o un 10 % más, cuando los errores globales de estimación del Plan evidentemente son superiores a los de actuaciones concretas. Máxime que las valoraciones no proceden de un estudio a nivel de proyecto, ni siquiera de anteproyecto y, a duras penas, de un estudio previo.

3. La ley de aprobación del Plan General Ferroviario aún no está sancionada. Por ello, si en el anteproyecto o proyecto de ley hay alguna cláusula en ese sentido a tiempo se está de corregirlo, antes de iniciar su discusión y aprobación. Pues es evidente que no conviene hipotecar la posibilidad de mejorar las futuras prestaciones del ferrocarril (que es el objetivo declarado de este Plan del Estado), por la existencia de un corsé puramente administrativo. En una palabra debe procurarse evitar, para un futuro nada lejano, situaciones como la que ahora se presenta en el trazado Madrid – Aranda – Burgos. Con la atenuante, prácticamente eximente, en este caso, de que, cuando se ejecutó, no se había planteado ni estaba en el horizonte la necesidad de un plan de cambio sustancial de nuestra Red. Situación que no es la de ahora.

Las recomendaciones de este documento son algo más matizadas que las de los documentos anteriores, pues del examen de los perfiles y plantas de muchas de las líneas existentes se deduce que en muchas ocasiones el proyectista ha utilizado el valor mínimo de una especificación como el valor más lógico a utilizar sistemáticamente. Por eso introducimos, antes de los valores máximos o mínimos, el valor normal. Por ejemplo si se traza una zona muy llana será suficiente (mejor dicho, obligado) una sola alineación recta. Y, si ello no es posible, se

resolverá la situación con alineaciones rectas unidas con circulares de radio muy amplio, sin sobrepasar uno de valor normal. Solo en situaciones difíciles se recurrirá a los valores mínimos, normales o excepcionales. Para los cuatro de mayor trascendencia económica y funcional (R, i, E, A = sección de los túneles de vía doble, libre a efectos aerodinámicos), las recomendaciones eran:

Radios de las alineaciones circulares en planta

normal: $R \geq 4.000$ m mínimo normal: $R = 3.000$ m mínimo excepcional: $R = 2.000$ m

Pendientes del trazado en alzado

normal: $i < 5$ mm/m, máxima normal: $i = 12$ mm/m máxima excepcional: $i = 15$ mm/m

Entrevías $E = 4.4$ m

Sección de los túneles libre a efectos aerodinámicos: $A = 64.4$ m² (túneles de vía doble)

Ante la evidente importancia que tenía la definición de muchos aspectos funcionales derivados del PGF, no sólo de las infraestructuras a construir, se crearon grupos de trabajo de composición más variada (hasta ahora el tema casi exclusivo era el de los nuevos trazados). Para su análisis por el subgrupo de infraestructuras en el mismo mes, redactamos el **DOC.7** (9. 1981). En este trabajo se incluían para cada uno de los 23 parámetros considerados, frente a los 7 del DOC.3 (6.1980) y los 17 de los documentos DOC:4,5,6, (12.1980), un breve comentario, el campo de variación normal en la práctica internacional, y una propuesta para las obras de nuevos trazados incluidos en el PGF, o surgidos como consecuencia de su desarrollo. Para ver el nivel de detalle con el que se estudiaba esta cuestión, básica para construir unas líneas con elementos coherentes, y concebidos con criterios bien y homogéneamente establecidos, damos la relación de los mismos.

Parámetros previos

1. Vida útil previsible para un nuevo trazado
2. Pendiente máxima del diagrama de peraltes
3. Máxima variación con el tiempo del peralte
4. Máxima variación con el tiempo de la insuficiencia de peralte
5. Máxima variación con el tiempo de la aceleración sin compensar, o coeficiente de calidad
6. Máxima aceleración admisible en los acuerdos verticales

Trazado en planta

7. Radios de las alineaciones circulares
8. Peralte máximo en las alineaciones circulares
9. Tipo de diagrama de peraltes a lo largo de la curva de transición
10. Relación entre el peralte y la curvatura en un punto de la curva de transición
11. Tipo de curva de transición
12. Longitudes de las curvas de transición
13. Longitudes mínimas de las alineaciones de curvatura constante

Trazado en alzados

14. Tipo de acuerdo vertical
15. Radios de curvatura del acuerdo vertical
16. Longitud mínima del acuerdo vertical
17. Distancia mínima con pendiente constante entre dos acuerdos verticales

18. Pendientes máximas

Parámetros relacionados con las secciones transversales

19. Distancia entre ejes de vías
20. Anchura de la banqueta de balasto
21. Pendiente de la banqueta de balasto
22. Paseos
23. Banda a expropiar para construcción y caminos de servicio

Las recomendaciones para los parámetros protagonistas de los que venimos analizando reiteradamente coinciden sensiblemente con los últimos que hemos comentado.

Resumiendo este punto diremos que la aceptación en RENFE (o la no objeción al menos) de radios normales de 4.000 m, es una aceptación de los 300 km/h en las zonas de los nuevos trazados que discurran por terrenos favorables (es muy importante subrayar que, en terrenos de este tipo el radio de las curvas debe ser infinito, o sea la alineación recta). Ello no implica que los trenes inaugurales tengan que ser aptos para esas velocidades. Lo absurdo sería no hacer una línea nueva, su trazado e infraestructura, con parámetros más generosos que los estrictamente necesarios para los trenes de la fecha inaugural. Y que el interés que muestra RENFE por estas cuestiones, sosteniendo y alentando estudios profundos sobre las cuestiones de la alta velocidad, no tendría ningún sentido si en los organismos estatales hubiese un rechazo manifiesto de dichas velocidades. Creo que se puede decir que las relaciones entre la Alta Velocidad y el Estado Español, en esos tiempos, eran al menos de buena esperanza.

3.4. Tres decisiones del Gobierno. Un noviazgo (200 km/h), unos esponsales (250 km/h), y un amor eterno (300 km/h).

Se observa en la relación contenida en el punto 7 de este escrito, que no aparece mención alguna a los temas de la alta velocidad, sin encontrar ninguna explicación sencilla a esta aparente anomalía, entre los años 1982 y 1985, ambos incluidos. Recordé que en el año 1982 hubo un cambio de gobierno, y que podía estar relacionado con eso. En un libro de mi buen amigo, el Dr. Ingeniero de Telecomunicación, J.M. Muñoz Aza (La verdad sobre el AVE, revolución y escándalo, 1999, ver NOTA 4) encontré una confirmación de la hipótesis, pues el cambio de gobierno supuso un cambio de énfasis inicial en lo relacionado con el nuevo acceso ferroviario a Andalucía. Digo inicial porque, a partir de 1986 el asunto se dinamizó con un ímpetu que varios de los comunicantes y/o asistentes a estas jornadas bien conocen, pues todos los involucrados en el tema tuvimos que ponernos en marcha con presteza y con grandes aceleración y velocidad de crucero, tratando de recuperar parte del tiempo perdido. Del **DOC.15** (nov.1989) tomamos un párrafo que explica el origen de la nueva situación:

“ **11/10/1986.** En esta fecha, ante la conveniencia (y posibilidad) de ahorrar 100 km en la relación Meseta – Andalucía Oriental, la necesidad de resolver los problemas de saturación de la actual línea Madrid – Sevilla (tramo de Despeñaperros, principalmente), la prioridad acordada desde antiguo por la RENFE a las actuaciones en el eje Madrid – Andalucía, y la oportunidad de que esas actuaciones tuvieran su culminación en el año 1992, en el cual, con motivo de la EXPO '92 en Sevilla, los problemas mencionados se agudizaran hasta niveles insostenibles, el Gobierno anunció al país la construcción de un acceso ferroviario a Andalucía, con un diseño que permitiría velocidades de 200 km/h”.

Es decir, el Gobierno, que había rechazado en 1978 los amores de la alta velocidad, a favor de una solución continuista pero poco dinamizadora de la languideciente actividad ferroviaria de la época, declara en 1986 (ocho años después) su afecto por la alta velocidad, aunque con el nivel más moderado de la misma, los 200 km/h.

Del mismo documento tomamos otro párrafo en el que se aprecia cómo el afecto del Gobierno por la alta velocidad se confirma e, incluso, se agranda:

“ **30/4/1987**. En esta fecha el Gobierno español aprueba el P.T.F. (Plan de Transporte Ferroviario) con una dotación de 2.1 billones de pesetas, en el cual se señalan las velocidades de circulación en algunas de las relaciones principales:

- 200/250 km/h en los nuevos accesos a Andalucía y al Norte - Noroeste de España (520 km)
- 200 km/h para el triángulo Madrid – Barcelona – Valencia – Madrid (1.500 km)
- 160 km/h para otras relaciones “

Por primera vez aparece, en una decisión gubernamental, la velocidad de **250 km/h**, la más característica, en esa época, de las altas velocidades. Esta última decisión revela que, a nivel del Estado, habían desaparecido las grandes reticencias contenidas en el P.L.P. de 1978 sobre la alta velocidad, en el cual fue requerida su presencia, pero sólo para repudiarla. Todavía se aprecian, en esta decisión ciertas reticencias, pues los kilómetros para 200 km/h (1.500 km) son muchos más que los de 250 km/h. Y se habla también de los 160 km/h, que era la velocidad estrella del P.L.P., pero que, en nuestra opinión, no debería figurar ya al hablar de nuevos trazados. Otra cosa es que se hable de las velocidades de los trenes a adquirir que, aunque sean para una línea apta para 250 km/h, la adquisición se ha de hacer pensando en las velocidades competitivas de la época, que pueden ser de 160 km/h, y menores en algunas relaciones. La clave básica del acierto en estas cuestiones radica en tener en cuenta que los trenes suelen tener una vida útil de unos 30 años, frente a los 100 años que se estiman para una infraestructura.

Hay una tercera decisión de Gobierno, de RENFE, con mayor precisión, en 1989, que confirma, con compromisos económicos muy vinculantes, que la alta velocidad será una realidad a muy corto plazo. De la misma referencia obtenemos:

“**16/3/1989**. RENFE suscribe sendos contratos para la adquisición de 24 trenes de alta velocidad (300 km/h) y 75 locomotoras universales de gran potencia (5.600 kW)”.

Por fin la cifra mágica, la que indica sin lugar a dudas la total vinculación del ferrocarril español con la alta velocidad en su máximo nivel de aquellos tiempos, los **300 km/h**, por fin aparecen en la escena, y de la forma más convincente, mediante un contrato formal para la adquisición de los trenes más veloces de la época.

En realidad el compromiso económico que hacía indudable la vinculación de España con la alta velocidad se había producido dos años antes, cuando en octubre de 1987 se inician las obras en el tramo de 308 kilómetros comprendido entre Getafe y Córdoba, según indicaba en mayo de 1991 el Director General de Infraestructuras del Transporte Ferroviario, en la presentación de cada uno de los fascículos divulgativos sobre el proyecto y las obras en ejecución. Realmente los primeros dineros desembolsados lo fueron para estas obras. Si he resaltado la fecha del contrato de los trenes es porque, de los dos elementos básicos, el tren y la vía, podríamos decir que el tren es de alta velocidad total desde el primer momento, en el sentido de que, si por él fuera, siempre se circularía a la máxima velocidad (a 300 km/h en este caso), cosa que no ocurre con la vía, no conocemos ninguna línea que permita la circulación en todo su recorrido con la máxima velocidad de los trenes que la tienen máxima. En el caso presente del AVE Madrid – Sevilla, ello es posible en 296 kilómetros de los 471 que tiene la relación, es decir en un 63 % del recorrido, según explica, en uno de esos fascículos, el dedicado a la geometría del trazado, el (gran)autor de los proyectos, Ingeniero de Caminos D. Jorge Nasarre y de Goicoechea.

La alta velocidad real, la que puede utilizar un viajero que lo quiera y pueda, nació el 20 de abril de 1992, con un éxito extraordinario, como hemos señalado en la introducción. Hemos visto las circunstancias de su nacimiento/implantación, que ha sido pasito a pasito, al principio. Las pocas ganas que tienen los gobiernos, en general, de conceder fondos para actuaciones de gran

envergadura y de dudosos resultados, unido al (o causado por el) “...escepticismo que seguramente mantenía una parte de la empresa “, según confesaba la presidenta de RENFE al año de la exitosa inauguración, que hemos recordado también en la introducción, pueden estar en el origen de la marcha lenta inicial (1978 – 1985). Todo lo contrario ocurrió en la etapa final (1986 – 1992), en la que, el mismo gobierno que ralentizó el proceso en 1983, y seguramente, o al menos, por los motivos que hemos mencionado al comentar la decisión de 11/10/1986, impulsó de nuevo el proceso, con un ímpetu desmesurado, que obligó a redactar proyectos de la máxima envergadura en plazos inauditos (un año transcurrió desde la declaración de octubre de 1986, hasta el inicio de las obras en octubre de 1987), y a realizar obras en plazos que no podían creer los técnicos y directivos de varias redes europeas que nos visitaron. A todos vosotros, los que proyectasteis y construisteis el AVE Madrid –Sevilla, varios de los cuales estáis aquí, os manifiesto mi admiración.

4. COMENTARIOS SOBRE ALGUNOS PARÁMETROS IMPORTANTES.

Muchos son los proyectos de AVES que se han realizado desde el año 1987, como lo muestra, por ejemplo, el curriculum de los componentes de la Fundación Caminos de Hierro, promotora de estas jornadas (Madrid –Sevilla, Madrid – Barcelona, Madrid –Valencia, Córdoba – Málaga). Creo que poco se puede aportar a lo ya aprendido de tanta experiencia y tanta excelencia. Por si pudiera ser útil a alguien van a continuación unos comentarios sobre temas clásicos en el estudio de una vía de alta velocidad ferroviaria.

4.1. Sobre la vida útil de una infraestructura ferroviaria de financiación pública.

Si se estima que, en la actualidad, la vida (útil o inútil) de cualquier persona puede ser centenaria, y que su aportación a las arcas del estado se inicia aproximadamente a los 20 años, le queda por delante una vida de contribuyente de unos 80 años. Parece sensato que no se le pida dinero para financiar la mejora de una línea ferroviaria cada 20 o 30 años, porque ya no vale para las velocidades de los trenes nuevos que permiten acortar sustancialmente los tiempos de viaje. Parece más lógico hacer una estimación de las velocidades del futuro y, con un incremento limitado del coste inicial, se alargue la vida útil de la línea. Y que la prospección de las velocidades por las que se ha de contribuir no vaya más allá de los 80 años, que es la estimación de la vida contributiva de un sector, cada vez más numeroso, de contribuyentes. Lo cual nos lleva a hacer una estimación de las velocidades del futuro.

4.2. Sobre las velocidades a considerar en los próximos años.

Parece que, en el tráfico carretero, las perspectivas de aumento de las velocidades de uso de los coches son escasas, por su extraordinaria capacidad de contaminación química y acústica (cada vez menos tolerada por las personas), y por su probada y extraordinaria capacidad de muerte violenta, también cada vez menos tolerada por las personas. Sin estar en guerra con nadie, España sufre anualmente por muerte violenta en accidentes de tráfico carretero, más de 4.000 bajas, entre abuelas(os), padres/madres, nietas(os), solteros(as). O sea más de 10 muertes violentas diarias, sin estar en guerra con nadie.

No ocurre lo mismo con el tren, en el que estas muertes son prácticamente inexistentes.

Recientemente (3.4.2007), un tren de pruebas francés ha circulado a la velocidad de 574.8 km/h, y actualmente se circula con normalidad a 300 km en varios países entre ellos España. Es decir entre la velocidad máxima experimental y la máxima normal hay una diferencia 275 km/h. Nada parece indicar que la tracción en los próximos 80 años no sea de 400 km/h. Realmente los 350 km/h parece que son cosa a punto de conseguirse, y varias Redes en el mundo (entre ellas Renfe) diseñan o han diseñado trazados aptos para esa velocidad. También los 400 km/h se han

considerado en algún trazado, en Francia al menos. Con unas cuentas muy sencillas (ver NOTA.3), se puede estimar el crecimiento medio anual de la velocidad de uso en el mundo, desde su inicio hace unos 200 años, en 1.5 km/h año (200 años, de explotación, con velocidad inicial marginal y actual de 300 km/h, conducen a $300/200 = 1.5$ km/h/año). Por lo tanto, una velocidad probable de uso, debido a la demanda, dentro de 80 años, será la de $300 + 1.5 \times 80 = 420$ km/h. Creemos que, al menos en gran parte de los trazados, una velocidad en el entorno de los 400 km/h es la lógica a considerar. Claro que, prospecciones más finas (y costosas, lógicamente) pueden (deben) aquilatar con mayor rigor esta velocidad de proyecto. En particular la incidencia de los costes de la energía de tracción, que crecen con el cubo de la velocidad (aunque no proporcionalmente).

4.3. Radios de las alineaciones circulares

Seguramente la recomendación más útil, y fácil de aplicar, es tantear constantemente alineaciones rectas (o sea circulares de radio infinito). Y, agotadas estas posibilidades, tantear curvas de radio 10.000 m. Desde luego hay que huir de tantear, desde el principio trazados con el radio mínimo fijado. Eso se ha hecho mucho en el pasado, basta ver los perfiles de muchas líneas de RENFE, heredadas del pasado y de diversas compañías, en las que el radio es constante a lo largo de todo el trazado. Cosa que es muy cómoda para el proyectista, pero pernicioso para el proyecto.

De un estudio muy amplio sobre los aspectos ferroviarios de un eventual túnel ferroviario a través del Estrecho de Gibraltar (**DOC.19**, 1993), y pensando en los trenes de viajeros que le cruzarán en ambos sentidos de la relación (París - Madrid - Rabat - Casablanca), en la cual se inserta el actual AVE Madrid - Sevilla, con velocidades del futuro de 400 km/h, la recomendación que hemos hecho es la siguiente:

- El trazado en planta se resolverá con el menor número de alineaciones rectilíneas posible.
- La conexión entre éstas alineaciones se realizará normalmente mediante otras circulares de radios superiores a los 10.000 m.
- Si ello es difícil o costoso, se utilizarán radios de 8.000 m o superiores.
- Y, excepcionalmente, se utilizarán radios mínimos de 6.300 m.

4.4. Pendientes de las alineaciones en alzado.

En el año 1987 realizamos, también en el marco de los estudios de un túnel ferroviario bajo el Estrecho de Gibraltar, un estudio monográfico (**DOC:11**, 1987) de gran envergadura sobre éste parámetro, en la doble vertiente, las pendientes de acceso al túnel y las rampas de salida. Naturalmente que, para su redacción revisamos gran parte de lo publicado y legislado al respecto (105 referencias, la primera de ellas de 1871, y las 10 últimas de 1986). En el contexto de esta comunicación no podemos ni siquiera enunciar, en términos precisos, el alcance del estudio y los problemas potenciales de unas pendientes/rampas más o menos elevadas. Apenas podemos algo más que enunciar las conclusiones. Un resumen de este trabajo (9 páginas de apretado texto) se encuentra en el **DOC.12**, 1988). Y de este resumen entresacamos, del resumen del capítulo dedicado al análisis de la experiencia internacional, lo siguiente:

“ Se han heredado del siglo pasado un porcentaje significativo de líneas con trazados cuyas máximas pendientes son del orden de 25 – 30 milésimas y algunas mayores. La situación de casi monopolio del ferrocarril frente a otros modos de transporte y las reducidas exigencias de explotación de la época, daban sentido económico y justificaban la viabilidad técnica y económica de dichas soluciones.” Se indica en este resumen que, como consecuencia de la competencia de los demás modos, fue necesario con frecuencia la modificación de este parámetro rebajándolo hasta el entorno de las **12 milésimas**.

Es el caso de las travesías alpinas en proyecto y construcción en la actualidad, en sustitución de los viejos trazados con las 25 –30 milésimas citadas y que, a la vista de la experiencia vivida, se

proyectan y construyen con pendientes del entorno de las 12 milésimas. A pesar de que ello conlleva la construcción de túneles de enorme longitud. El antiguo túnel de San Gotardo, por ejemplo, de unos 15 km de longitud, es sustituido por uno de más de 50 km, porque se dejan unas rampas de acceso también en el entorno citado. A pesar del enorme coste de su construcción. Y es que, en este ámbito, es interesante pensar que es preferible hacer una inversión inicial costosa, que duele durante unos pocos años, y dejar una explotación espléndida para todos los días de todos los años de su larga vida útil, que una más económica pero que grava la capacidad y los costes de explotación durante su menor vida útil y, además, obliga a nuevos desembolsos por parte de los contribuyentes cuando aún no han olvidado los pagos que ya hicieron por la primera solución.

Suele exagerarse la influencia en este parámetro el que por la vía circulen sólo trenes de viajeros o que sea para mercancías y viajeros. Se presupone que cuando es sólo para viajeros las pendientes pueden ser muy grandes. Y se suele poner el ejemplo de la primera línea francesa de alta velocidad. París –Lyon, en la que había pendientes de hasta 35 milésimas (en tramos de longitud limitada, menor de 3.5 km). Pues bien, también es cierto que en las siguientes líneas las pendientes se rebajaron a 25 milésimas, con un importante aumento de la cantidad de viajeros que podían transportar los trenes (aumentaron de seis a ocho el número de remolques) con la misma tracción.

Resumiendo diremos que, de los estudios realizados, con análisis detallados de la influencia de las pendientes en la capacidad de los trenes, en el frenado y en el arranque, con situaciones de buena y mala adherencia, de la experiencia más que centenaria del ferrocarril, de las nuevas líneas que se construyen, y de la legislación más o menos vinculante existente, no se deduce que sea ventajoso, ni en tráficos de viajeros ni de mercancías, alejarse de pendientes de 12 milésimas. En el punto 3.3. de esta comunicación, se recuerda que los japoneses construyeron su primera línea de alta velocidad (para sólo viajeros) con los siguientes parámetros:

$$R = 2.500 \text{ metros} \qquad i = 15 \text{ milésimas}, \qquad E = 4.2 \text{ metros}$$

Y que en la siguiente, la línea del San – yo, que es la prolongación de la anterior, cuyas obras se iniciaron **tres años después**, se modificaron (mejorándolos) todos los parámetros, siendo los que corresponden a los tres señalados anteriormente:

$$R = 4.000 \text{ metros} \qquad i = 12 \text{ milésimas}, \qquad E = 4.3 \text{ metros}$$

Es muy significativo que, siendo muy moderadas las pendientes de la primera línea (15 milésimas), la experiencia de explotación les condujo a reducirla hasta las 12 milésimas que venimos preconizando.

4.5. Sección transversal de los túneles

En el (DOC.3, 1980), que es el provocador de la febril actividad encaminada a definir los parámetros de infraestructura necesarios para redactar los anteproyectos y proyectos de los nuevos trazados que surgirán con el P.G.F., se incluye un esquema de sección transversal tipo para los túneles de Brazatortas – Córdoba. La sección libre a efectos aerodinámicos resultante es de 71.4 m². No se explica nada sobre el modo de obtenerla ni yo recuerdo como lo hice.

En el (DOC.6, 1980), del mismo año, se da la sección de 64.4 m², y se explica su modo de obtención que, básicamente, es por consideraciones geométricas, y comprobando después que, utilizando un gráfico de los ferrocarriles británicos a partir de pruebas con un tren tipo APT (Adv. Pasen. Train), las variaciones de presión en el interior del tren no rebasaban 3 kN/m², si la velocidad era de unos 240 km/h.

Cuando en 1986 se reinician los trabajos para proyectar la Variante Brazatortas – Córdoba, considerando velocidades de hasta 250 km/h, se piden proyectos con plazos imposibles y una de las cosas que estaban en camino crítico era la definición de la sección transversal de los 14 túneles previstos para ese trazado. A cuyo efecto redactamos un informe de unas 30 páginas (**DOC.10**, 1986) titulado NOTA sobre los efectos aerodinámicos y los Túneles del Nuevo Trazado Brazatortas – Córdoba, que terminaba con la recomendación de proyectarlos con una sección de 75 m² (frente a los 62 m² de un proyecto anterior de los años 80, redactado en el contexto de los 160 – 200 km/h).

A esa sección llegamos después de hacer un repaso de los trabajos teóricos y experimentales realizados al respecto por la U.I.C., principalmente del Comité ORE C.149, y después de hacer un minucioso análisis de las experiencias de los ferrocarriles japoneses, británicos, italianos y alemanes. Todo ello en un marco de incertidumbre respecto al tipo de trenes que iban a circular por la línea, que resultarían de un concurso internacional muy abierto (del que podría, incluso, resultar la adjudicación a un tipo de tren no intencionalmente estanco). De hecho la adjudicación de los trenes se hizo el 16 de marzo de 1989, como ya hemos indicado en el punto 3.4, es decir casi tres años después de redactar el (**DOC.10**,1986).

Todos los túneles se construyeron con la misma sección, como era la costumbre de la época. En un amplio estudio posterior, destinado a definir la sección de los numerosos túneles que resultarían del desarrollo del P.G.F., estudio que fue realizado por los expertos ingleses que intervenían en el Comité ORE C.149, y en prácticamente todos los estudios realizados para la U.I.C. relacionados con los efectos aerodinámicos, se puso de manifiesto que la longitud de los túneles (mejor dicho, la relación entre la longitud del túnel y la de los trenes) tenía una influencia muy notable en el valor de esa sección. Resultando favorecidos los de mayor longitud en la gama de los túneles más frecuentes en la práctica internacional. La primera ocasión para constatar este resultado la tuvimos al definir la sección de los 4 túneles de la primera propuesta para una variante N.-NO Madrid - Valladolid (**DOC.13**, 1989), que resultaron entre 73 m² y 112 m². Posteriormente, con motivo de los estudios previos al proyecto del túnel de Guadarrama, de una longitud del orden de 30 km, fuera de la gama considerada en la ficha UIC779-11(1995), se hizo un estudio específico de las variaciones de presión en la gama L/l entre 25 y 150 (L, l, longitudes del túnel y del tren), comprobándose (**DOC:25**,1999) que, a partir de la relación $L/l = 75$ aprox. esas variaciones aumentaban muy suavemente cuando el coeficiente de bloqueo, a/A , era moderado (a , A, secciones del tren y del túnel).

Todos los túneles posteriores a 1989, los hemos diseñado con este criterio, líneas de Madrid – Barcelona (**DOC.21,22**,1995), (**DOC.23**,1998), y Córdoba – Málaga, (**DOC.27,29**,2.001), es decir cada túnel con la sección que le corresponde. De esa manera se puede lograr que el nivel de confort o inconfort, derivados de los efectos aerodinámicos, sea uniforme, evitando el estar preocupado por si la sensación asociada al túnel siguiente será mayor o menor a la del túnel anterior.

En la actualidad se han mejorado los métodos de cálculo de las variaciones de presión del aire en los túneles y en los trenes, teniendo en cuenta, además, el nivel de estanqueidad de éstos. La UIC, mejor dicho, un grupo de países miembros de la UIC muy interesados por las cuestiones aerodinámicas relacionadas con los túneles (entre ellos España), ha elaborado un programa muy sofisticado que tiene en cuenta, incluso, el nivel de estanqueidad de los trenes para definir la sección de los túneles. Sobre ello, y otras cuestiones, seguramente informará cabalmente D. Antonio Lozano del Moral, promotor y líder de los equipos (de la UIC y del ERRI) encargados de su redacción. En la Revista de Obras Públicas (nov.1998, nº3.381), en un artículo de 10 páginas, D. Antonio hace un repaso a todos los estudios de la UIC sobre la aerodinámica y los túneles ferroviarios, incluido este último que citamos.

5. COMENTARIOS LAUDATORIOS SOBRE EL FERROCARRIL

Prácticamente nadie ha discutido que el modo ferroviario tiene muchos puntos fuertes, difícilmente superables por los otros modos de transporte terrestre, principalmente el carretero. Enumeraremos algunos.

- **1.** Posibilidad de **velocidades muy elevadas** (récord reciente de 574.8 km/h., SNCF, 3.4.2007 (ver figura de la página siguiente).
- **2.** Posibilidad de **grandes cargas** (trenes de hasta 70.000 toneladas, ver **DOC.15**, 1989).
- **3.** Inigualable **seguridad** (como explicaremos con detalle).
- **4.** Muy buen **rendimiento energético**.
- **5.** Aparentemente mal **rendimiento económico** (hasta que llegaron los Balances Sociales)

En muchas ocasiones y escritos, en el (**DOC.8**,1981) por primera vez, he dedicado alguna página a exponer objetivamente los grandes méritos del ferrocarril. En los primeros escritos lo hacía porque ya tenía serias pistas de porqué, teniendo el ferrocarril tantos e importantes puntos fuertes, era generalizadamente considerado como deficitario, es decir tenía mal rendimiento económico. Y, últimamente, cuando ya no hay ninguna duda sobre sus más que buenas prestaciones económicas (ver el punto 5.1, a continuación), seguimos hablando de alguno de los cinco puntos señalados anteriormente, especialmente del 3, que trata del inigualable nivel de seguridad inherente al transporte por ferrocarril y que la comunidad no aprovecha de forma adecuada para resolver uno de los más escandalosos problemas de inseguridad que tenemos, con gobiernos de cualquier signo, izquierda, centro, derecha. Y, si no se quiere apuntar tan alto, al menos reducirlo a niveles que no merezcan el calificativo de escandaloso que, por méritos propios, merece la situación actual. Nos referimos a las bajas por muertes violentas (entre 4.000 y 5.000 anuales, 4.867 en el año 2.004) que, sin estar en guerra con nadie, se producen en España a causa de los accidentes de circulación por carreteras.

5.1. Méritos económicos

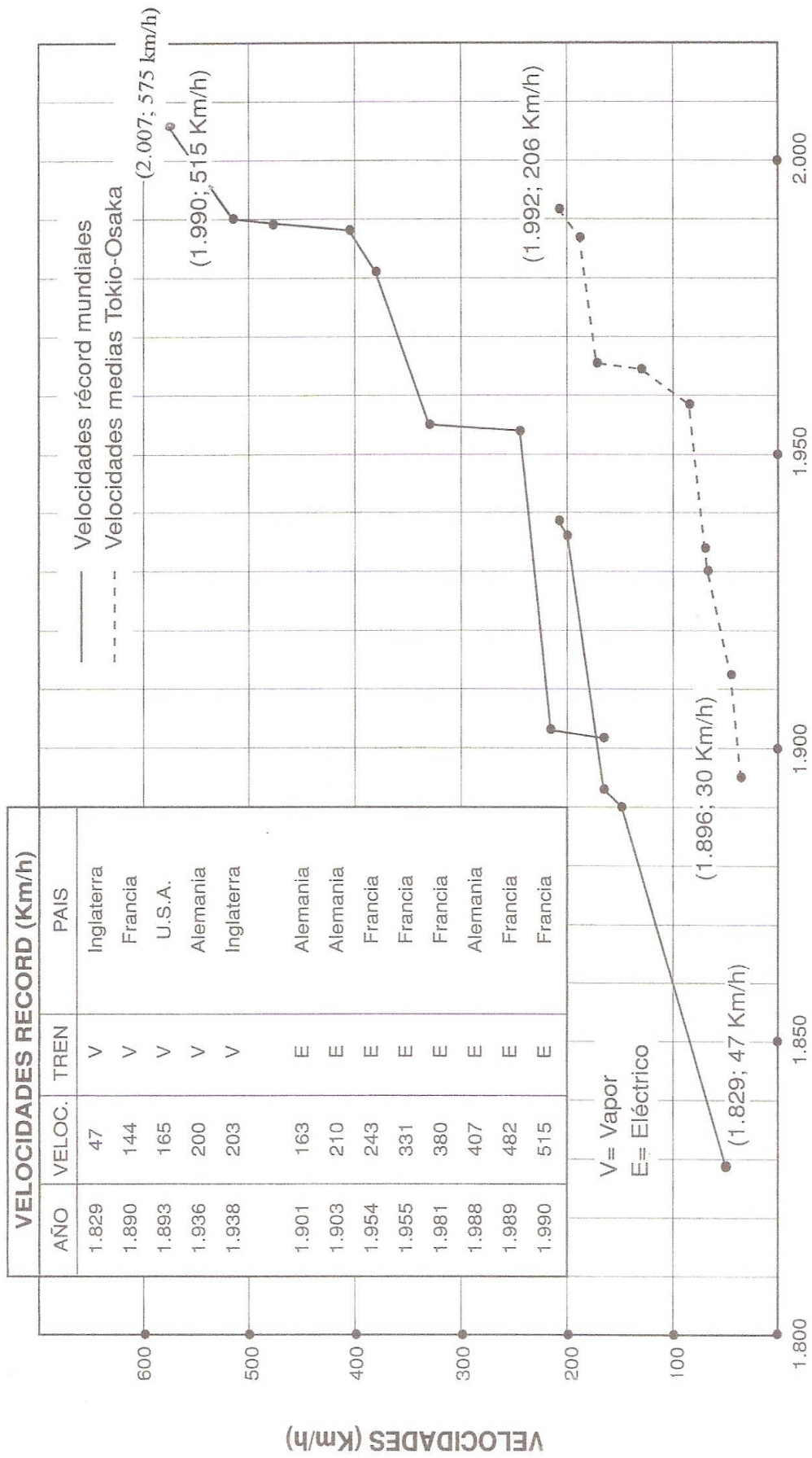
En el (**DOC.8**, 1981) subrayábamos el mérito económico del ferrocarril, comentando un trabajo que analizaba la siguiente situación. Supongamos (en 1975) la desaparición de la red ferroviaria de E.E.U.U. Para realizar el tráfico ferroviario de ese año por carretera, resultaría un coste que rebasaba en 30.000 millones de dólares al que hubiese resultado usando el ferrocarril. Lo que equivalía, en aquella época, al dinero suficiente para construir completamente una nueva red ferroviaria idéntica a la existente en ese país. Este ejercicio fue realizado en el marco del XIV Congreso Panamericano de Ferrocarriles (Lima, 1978), justo en el año en que se inició el Plan a Largo Plazo español para mejorar rupturísticamente el ferrocarril español. Naturalmente que, a raíz de estos resultados, el mismo o (parecido) ejercicio se hizo en muchos otros países. En RENFE, concretamente, se hicieron unos llamados Balances Sociales relativos a los años 1982 y 1983. Los resultados de los mismos, con el lenguaje del propio informe, (Balance Social 1982/1983, RENFE, 1984), que es un volumen de 208 páginas, fueron los siguientes.

Año 1982

- | | |
|--|-----------------------------|
| - Aportaciones de RENFE al Estado – Colectividad | 521.511 millones de pesetas |
| - Aportaciones recibidas por RENFE del Estado – Colectividad | 423.045 “ “ |

Es decir RENFE aportó al ESTADO – COLECTIVIDAD en el Ejercicio de 1982 un **Beneficio** de $521.511 - 423.045 = 98.486$ millones de pesetas.

**EVOLUCION DE LAS VELOCIDADES RECORD DEL F.C. DE ADHERENCIA
EVOLUCION DE VELOCIDADES MEDIAS DE UNA LINEA (TOKIO-OSAKA)**



Año 1983

- Aportaciones de RENFE al Estado – Colectividad 610.321 millones de pesetas
- Aportaciones recibidas por RENFE del Estado – Colectividad 495.837 “ “

Es decir RENFE aportó al ESTADO – COLECTIVIDAD en el Ejercicio de 1983 un **Beneficio** de $610.321 - 495.837 = 114.484$ millones de pesetas.

A partir de estos resultados cayó en desuso el famoso (y un tanto difamante) adjetivo que, por sí mismo definía para muchos lo poco interesante que era el ferrocarril, continuamente y crecientemente “deficitario”, una especie de carga que tenían que soportar los contribuyentes y que, por lo tanto no había que ocuparse de él, salvo para liquidarlo de una vez. Puesto que era una carga evidente para todos. En los años siguientes se reguló la relación entre RENFE y el ESTADO con Contratos – Programa.

Cabe preguntarse por qué no se reguló antes esta situación. Y se nos ocurre recordar lo que en una ocasión, durante un curso para la mejora de la formación de los directivos de RENFE, el presidente de la época, que luego fue ministro, nos indicó. Y es que, frente a la mayor empresa de transporte ferroviario española, es decir RENFE, existían en España otras 70.000 empresas de transporte carretero, con los ojos puestos en los mismos viajeros y mercancías que transportaba RENFE. Naturalmente que lo que no se le ocurriera a uno ya se le ocurriría a alguno de los 69.999 restantes empresarios en competencia con nuestra empresa.

5.2. Planteamiento de un escandaloso problema de inseguridad y atisbo de soluciones.

Los datos básicos y relevantes de partida son los siguientes.

1. Víctimas mortales imputables a RENFE, (media anual de 1982 a 1991).	4
2. Víctimas mortales por accidentes del AVE Madrid – Sevilla (15 años).	0
3. Víctimas mortales por accidentes en carretera (año 2.004).	4.867

Estas cifras creo que justifican sobradamente el calificativo que merece la situación de inseguridad comentada, escandalosa sin paliativos. Resoluble al menos, por lo que se atisba de las mismas cifras, aumentando el protagonismo del ferrocarril (con rebaja sustancial del precio de los billetes, por ejemplo). Es curioso constatar que estas víctimas mortales de la violencia carretera provocan en nuestra sociedad menos alboroto y alarma que las víctimas por violencia de otro origen. Y la verdad es que no comprendo por qué. La muerte de un familiar, amigo, vecino,...por un atentado terrorista me daría (me ha dado) dolor y rabia, pero la muerte por un accidente de carretera me produciría, además, asco. Pues para evitar ésta hay soluciones racionales, aunque sean algo costosas.

No hay que presumir de zahorí para adivinar la raíz del problema y, en consecuencia una de las posibles soluciones. En el ferrocarril el vehículo tiene muy pocos grados de libertad de movimientos, realmente sólo uno. En la carretera tiene toda la libertad de movimientos. Lo cual no sería grave si por una carretera sólo circulase un sólo vehículo. Pero, a pesar de que circulen muchos, cada conductor tiene la posibilidad de moverse hacia adelante, hacia atrás, hacia la derecha, la izquierda, y, además, todos estos movimientos los puede hacer en el instante y con la velocidad que el propio conductor determine. Evidentemente son demasiados grados de libertad, porque todos los demás conductores tienen los mismos, incluidos los que circulan en sentido contrario, pero no coordinados con todos los demás. Hay que tener una gran capacidad física, mental, y moral para, en cada momento elegir la maniobra adecuada ante un abuso o despiste de los demás conductores que a uno le rodean. La verdad es que no se explica qué puede esperarse de tantas libertades que, forzosamente entrarán en conflicto en cualquier momento. Y ya lo creo que entran, por lo menos en 4.867 ocasiones en el año 2.004. Sólo si todos los que tienen carné de conducir tuviesen los reflejos de Fernando Alonso, Fitipaldi, Angel Nieto, podría tener

solución sencilla el problema. Pero no hay millones de conductores con esas facultades. Es asombroso que se concedan esos carnés a millones de personas para manejar una máquina tan capaz de producir tanta destrucción como es un automóvil. Sin más bagaje técnico que el puede adquirirse en algunos meses de aprendizaje.

5.3. Sugerencias para resolver/paliar el problema de forma significativa.

Naturalmente que los gobiernos tienen constancia de esta situación, pero su solución radical seguramente provocaría crisis en, al menos, la industria automovilista. Sólo se nos ocurre decir que crisis mayores hubo, de todo tipo, y hemos resistido. Desde que, hace 15 años, se inauguró el AVE Madrid – Sevilla, en el año 1992, han muerto de forma violenta por los accidentes de carretera aproximadamente $4500 \times 15 = 67.500$ personas. En el mismo plazo no ha muerto en ningún accidente ferroviario ni una sola persona transportada por el AVE, a pesar de su muy elevada velocidad. Pocas dudas caben sobre por donde está la solución de esta escandalosa situación. Sobre la velocidad resolución del problema deben pronunciarse los gobiernos, es decir la población representada por los gobiernos. Nosotros daremos un reducido catálogo, algo comentado, de medidas posibles.

1. **Endurecimiento de las condiciones de obtención del carné de conducir.** Es mejor no dar el carné a un potencial homicida que quitárselo cuando, sin quererlo, ha producido una víctima mortal. Seguramente es la medida más lógica, pero la más impopular, para el usuario y para la industria. Va directamente a la raíz del problema, no puede haber millones de conductores con las habilidades de los conductores de Fórmula 1. Incluso éstos se ven a veces involucrados en accidentes de tráfico.
2. **Grandes inversiones en infraestructuras ferroviarias modernas.** Implantada ya, con unos bríos que dan vértigo. Es una de las más costosas, pero la más eficaz si se acompaña de un coste de los billetes razonables. Si no es así, como en el AVE resultará una inversión elitista, sólo se beneficiará un sector social, y el trasvase de viajeros de la carretera al ferrocarril será poco significativo.
3. **Carné por puntos.** Implantado recientemente, es pronto para conocer su eficacia. Parece que, al menos, es medida barata y difícilmente objetable por nadie. Cuando se resienta la demanda, habrá objeciones de la industria afectada.
4. **Disminución real y radical de la velocidad** de tránsito por las carreteras, pues la falta de control del automóvil se hace más patente a medida que aumenta la velocidad. Impopular entre los usuarios, pero fácilmente defendible. Además es económica de implantación, incluso para el usuario, que sólo tendrá que madrugar algo más.
5. **Difusión semanal de las cifras de víctimas mortales**, por TVE al menos, en el ferrocarril y en las carreteras, y su suma hasta la fecha. Información gratuita o muy barata, pero muy didáctica, que puede inducir al uso más frecuente del ferrocarril. Protestará airadamente la industria del automóvil. Además de la información semanal indicada, se mostrarán (de fondo?) las cifras resumen del año anterior (las tres líneas del inicio de este punto). Creemos que es la medida más directa para que la población tome conciencia, sin el menor esfuerzo, del calibre del problema y lo absurdo de la situación, verdaderamente escandalosa en que vivimos.
6. **Abaratamiento generalizado de los billetes del ferrocarril.** La medida 2 (construcción de modernas infraestructuras ferroviarias, ya en ejecución) y el abaratamiento de los precios que pagan los viajeros, seguramente harían innecesarias, o menos necesarias, las restantes medidas. Porque el trasvase al ferrocarril de usuarios del automóvil sería espectacular. La primera medida está en fase de franco desarrollo, sin aparentes traumas. La segunda tendría el aplauso de cualquier votante, porque apreciarían directamente y simultáneamente, cualquiera que sea el color de sus ideas políticas, las ventajas económicas y de seguridad ofrecidas por el ferrocarril.

7. **Eliminar toda propaganda que tienda a fomentar la adquisición de automóviles por razones falsas.** No es verdad que comprando un determinado tipo de coche te salgan novias a montones. Ni que por comprar otro tipo puedes ir a 200 km/h y frenar sin problemas justo al borde de un tremendo precipicio.
8. **No conceder licencia de uso a coches que son capaces de circular a velocidades muy superiores a las estipuladas por la ley.** Lo contrario es, en la realidad, una invitación a la infracción.

Resumiendo diremos lo que se deduce, directamente, de los datos del problema: hay que trasladar la mayor parte del tráfico de la carretera al ferrocarril, sea este de alta velocidad o de velocidad convencional. El cómo corresponde a los gobiernos (es cuestión sobre la que, por su naturaleza, parece que debe ser fácil la unanimidad). Lo agradeceríamos todos los que podemos entrar en este mortífero sorteo. Es decir, todos los españoles.

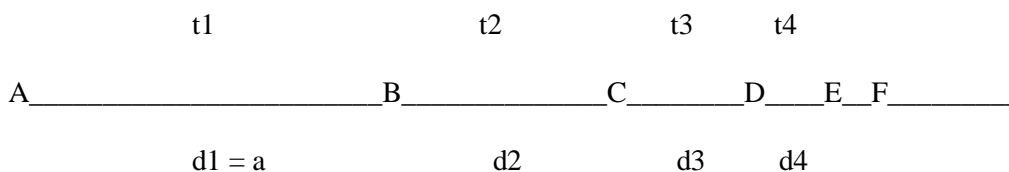
El conseguir la drástica reducción de los accidentes es cosa que costará muchos dineros. Algunos ya están comprometidos, en cuantías muy importantes (cifras de vértigo en inversiones de modernas infraestructuras ferroviarias). Otra cantidad importante puede detraerse de lo que se ahorraría en accidentes. Según un valioso documento oficial: Guía Práctica de la Energía, 2007, editado (7.4 millones de ejemplares) por el Ministerio de Industria Turismo y Comercio “el coste de los accidentes carreteros en la Comunidad Europea alcanza un 2% de su PIB”. Yo no tengo datos en estos momentos de cuanto es ese PIB, pero estoy seguro de que es una cifra sustancial. Y, si ello no alcanza para tanto, no bromeo, puede hacerse una cuestación entre todos los abuelos de Europa, que, pensando en sus nietos, aportarían un dinero seguramente muy importante. Y no digamos los padres, lo que aportarían los padres.

Se arma gran alboroto por las 1000 muertes violentas del terrorismo, y nadie duerme intranquilo por las 67.500 víctimas de la carretera en los 15 años que han transcurrido desde que se conoce que los trenes modernos de alta velocidad son tan seguros o más que los convencionales que, desde antiguo, se sabe que son extraordinariamente seguros. Ninguna muerte por el AVE Madrid – Sevilla, unas 60 en 15 años por los demás trenes. Repetimos una vez más: es una situación escandalosa.

6. NOTAS SOBRE CUESTIONES DIVERSAS TRATADAS EN CAPÍTULOS ANTERIORES.

NOTA 1. Sobre la paradoja de Aquiles (el de los pies ligeros) y la tortuga.

Decía Zenón de Elea, hacia el año 400 a.C., que el veloz Aquiles nunca podría alcanzar a una tortuga si ésta iniciaba una carrera con alguna ventaja inicial.



Porque si A y B eran las posiciones iniciales respectivas, cuando Aquiles llegase a B la tortuga ya estaría en otro sitio, C. Y, cuando Aquiles llegase a C, la tortuga ya estaría en otro punto, D. Y así sucesivamente.

Esta argumentación tan sencilla, clara y contundente, entra en total contradicción con la evidencia experimental. Pero ha generado gran desasosiego entre los pensadores más potentes de su época y posteriores. Las discusiones generadas en torno a esta paradoja, y otras del mismo

autor, condujeron a que Aristóteles, según el gran polemista, erudito, y matemático español Julio Rey Pastor (Historia de la Matemática, 1951), considerara a Zenón como el inventor de la “dialéctica”. Y, también según Rey Pastor, sus argumentos tuvieron importantes consecuencias para el desarrollo ulterior de la matemática, en particular para el análisis infinitesimal.

En la figura, d_n es la distancia recorrida por la tortuga (a la velocidad u) mientras Aquiles recorre el tramo anterior, $d_{(n-1)}$, a la velocidad V ($V > u$). Y t_n es el tiempo en que Aquiles recorre d_n . Es decir: $d_n = V t_n = u t_{(n-1)}$. Mediante sencilla manipulación matemática estas dos relaciones nos permiten obtener el tiempo, T , que tardaría Aquiles en alcanzar a la tortuga.

$$T = T_0 (1 + x + x^2 + x^3 + \dots + x^n + \dots) \quad \text{siendo } T_0 = a/V, \text{ y } x = u/V$$

Si suponemos $a = 100$ m, $V = 10$ m/s, y $u = 5$ m/s, resultan $T_0 = 10$ s, $x = 1/2$, con lo cual el tiempo T resultaría de la serie:

$$T = 10 (1 + 1/2 + 1/4 + \dots + 1/2^n + \dots)$$

Esta serie es convergente, lo que quiere decir que el número de términos de la serie englobados en el “... y así sucesivamente” de Zenón de Elea, puede ser infinito, pero la suma de todos ellos es inferior a un número finito. Por lo tanto Aquiles alcanzaría a la tortuga en un tiempo finito. Claro que hay series cuyos términos cada vez son más pequeños, como en la anterior, pero cuya suma es superior a cualquier número prefijado, es decir son series divergentes. Es el caso de la siguiente:

$$1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/n + \dots$$

Estas cuestiones no creo que las conociesen en la época de Zenón. Que esta última serie es divergente tampoco lo sabía el autor de esta Nota cuando le pusieron este problema en un examen de ingreso en la Escuela de Ingenieros de Caminos, por lo que tuvo que examinarse más veces.

La serie que nos da T converge al valor $T = T_0/(1-x) = a/V/(1-u/V) = a/(V-u)$. Se obtiene también T igualado las expresiones del espacio recorrido por Aquiles $s = Vt$, y por la tortuga,

$S = a + ut$, en función del tiempo. En el ejemplo numérico propuesto resulta $T = 100/(10 - 5) = 20$ segundos.

NOTA 2. Sobre la importancia del tráfico peatonal

El más antiguo modo de transporte motivado por la actividad humana es el derivado del traslado del propio cuerpo de cada persona de un lado a otro, desde que eso puede hacerse en cuantía apreciable (desde los cinco años aproximadamente) hasta edad bien avanzada. Vamos a comparar las unidades de tráfico que genera este tipo de transporte con otro tipo cotidiano, el ferroviario. Usaremos cifras groseras, pero significativas, para facilitar los cálculos.

Supongamos que cada persona, en España (40 millones de personas que pueden pasear), recorre cada día un kilómetro andando (la recomendación de los médicos para personas sedentarias y de cierta edad suele ser de unos dos kilómetros diarios). Y que el paseo se puede hacer en 300 días al año. Estas cifras producen (siendo $V =$ viajero o persona, $K =$ kilómetro, $D =$ día, $A =$ año, $M =$ millón) $40.000.000 V \times 1 K / D \times 300 D / A = 12.000 MVK$ al año.

Vemos que las cifras del modo peatonal cotidiano (12.000 Millones de ViajerosxKilómetro) son del mismo orden que las del tráfico real total de viajeros de RENFE en el año 1982 (Largo recorrido, Regionales, Cercanías), que fue de **14.703 MVK**. Es decir el modo de transporte peatonal, tan cotidiano y discreto, tiene una importancia extraordinaria.

En ese mismo año el tráfico real de mercancías en vagón completo, según el Balance Social de RENFE 1982/1983, fue de **8.119MTK** (T = Tonelada). Si suponemos un peso medio de 50 kilos por persona (0.05T), el tráfico peatonal anual resultante es de $40M \times 0.05T \times 1K/D \times 300D/A$, o sea **600MTK** al año. Vemos que, como transportador de cargas, la eficacia del autotransporte no es desdeñable, pero no tan espectacular como la capacidad de traslación de las personas de un sitio a otro en su quehacer cotidiano.

NOTA 3. Radios de las alineaciones circulares necesarios para las prestaciones de planes futuros.

Los radios, R, y peraltes, H, de una alineación circular, transitada por trenes con velocidades máxima V, y mínima U, han de diseñarse de manera que no se rebasen unos valores prefijados del peralte H_0 (para anular el riesgo de vuelco), de la insuficiencia de peralte I_0 (para asegurar niveles aceptables de confort), y del exceso de peralte E_0 (para asegurar una agresividad razonable de los trenes lentos). Generalmente, por motivos de coste de construcción, interesa que los radios sean pequeños, aunque a veces, en terrenos llanos, interesa todo lo contrario, el radio infinito, o sea la alineación recta, es lo más económico.

Si los datos de explotación (V,U) y los condicionantes (H_0 , I_0 , E_0) cumplen la relación:

$$V / U > [(H_0 + I_0)/(H_0 - E_0)]^{0.5}$$

entonces (**DOC.8, 30**) el radio mínimo, R_m , compatible con la explotación y los condicionantes dados viene dado por la fórmula:

$$R_m = s(V^2 - U^2)/g/(I_0 + E_0)$$

siendo s = ancho de vía (distancia entre ejes de carriles = 1.50 m en ancho internacional, y s = 1.74 en RENFE), y $g = 9.81 \text{ m/s}^2$. Si la relación indicada no se cumple, entonces R_m viene dado por:

$$R_m = sV^2/g/(H_0 + I_0)$$

Si una vía se construye con radios dados por las fórmulas anteriores, aptos para la explotación (V,U), vamos a ver cuales serían los correspondientes radios necesarios para otras prestaciones futuras con los mismos condicionante (H_0 , I_0 , E_0) pero con unas velocidades mayores, aunque conservando la misma proporción ($m = U/V$, $m < 1$). Con esta terminología las dos expresiones de R_m pueden ponerse así:

$$R_m = sV^2(1 - m^2)/g/(I_0 + E_0) = k_1 V^2 \quad R_m = k_2 V^2$$

siendo k_1 y k_2 dos constantes, porque (s, m, g, I_0 , E_0) son (o lo hemos supuesto) constantes.

Estas expresiones nos permiten afirmar que, con las hipótesis señaladas, si R_1 es el radio mínimo correspondiente a la velocidad V_1 , el necesario para V_2 será:

$$R_2 = R_1(V_2/V_1)^2$$

Las velocidades de explotación de los ferrocarriles han ido aumentando con el tiempo, con leyes de crecimiento muy distintas, según los países y las compañías que los explotaban. Pero hay una pista muy sencilla para hacer una estimación grosera, pero seguramente significativa, de lo que nos interesa en este contexto. El ferrocarril tiene ya una vida de unos 200 años, y las velocidades de explotación han variado, desde unas marginales, hasta los 300 km/h que hoy son normales en algunos países, entre ellos España. Si suponemos que las velocidades han crecido linealmente con el tiempo (en algunas relaciones así ha sido con bastante aproximación, en el

Tokaido japonés, por ejemplo), ello supondría que el crecimiento anual ha sido de 1.5 km/h al año. De modo que si VA es la velocidad actual (300 km/h), con este ritmo de crecimiento la velocidad de los mejores trenes del futuro, dentro de n años, será (en km/h):

$$V_n = VA + 1.5 n = 300 + 1.5 n \quad (n \text{ en años, } V_n \text{ en km/h})$$

Para n = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, resultan:

$$V_n = 315, 330, 345, 360, 375, 390, 405, 420, 435, 450$$

Y los radios mínimos de las curvas circulares ideales, Rn, en virtud de relación entre R1 y R2 encontrada, sería:

$$R_n = RA (V_n/VA)^2 = RA(1 + 1.5n/VA)^2 = RA (1 + 0.005n)^2 = f(n)RA$$

Siendo f(n) un factor que para n = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 resulta

$$f = 1.10, 1.21, 1.32, 1.44, 1.56, 1.69, 1.82, 1.96, 2.10, 2.25$$

Si, por ejemplo, en la actualidad se construye una vía por la que va a circular con la velocidad de 300 km/h, lo cual obligará a un radio RA, si se quiere que valga para cuando la velocidad lógica de explotación sea 400 km/h, es decir cuando sea aproximadamente n = 60, entonces el radio a considerar en la actualidad sería de 1.69RA. Que, si fuese RA = 4.000 m, daría un valor de 6.800 m.

Si se considerase una vida útil para un trazado de n = 100 años (cifra muy común en la práctica actual para ciertos elementos de la infraestructura), tendríamos una velocidad de proyecto deseable de 450 km/h, y un factor f = 2.25. De forma que el radio mínimo de proyecto sería de $R_n = 2.25 \times 4000 = 9.000$ m. Si en un futuro lejano (dentro de 100 años) los trenes podrán circular a 450 km/h es cosa aun no conocida con precisión, ahora hay serias dudas de su viabilidad, a pesar de que recientemente (3.4.2007, SNCF) se alcanzó un nuevo record experimental de 574.8 km/h (casi 160 m/s). Velocidades más moderadas, de 350 km/h, para la cual ya hay diseñados trazados (en España también) existen dificultades ciertas, pero cierta es también su viabilidad técnica.

Es interesante ver las cifras que resultan si, en vez de la VA = 300 km/h se considera VA = 120 que es la que se practicaba de forma generalizada en RENFE en el año 1978, en el cual se inició un plan a largo plazo, el P.L.P 1980-1991, para mejorar las infraestructuras del ferrocarril español. Los radios que imponían VA pueden estimarse entre 700 y 800 m. Con el horizonte de n = 100 años, y la evolución de las velocidades supuesta, resultan:

$$V_n = VA + 1.5 n = 120 + 150 = 270 \text{ km/h} \quad f = (V_n/VA)^2 = (270/120)^2 = 5$$

Y, por lo tanto

$$R_n = f \times RA = \text{entre } 3500\text{m y } 4000\text{m.}$$

Estos son, sensiblemente los utilizados en el AVE Madrid – Sevilla.

NOTA 4. Un libro muy relacionado con los avatares de la Alta Velocidad Española, AVE.

José María Muñoz Aza, con el que compartí "... largas jornadas y reuniones hasta perfilar el proyecto definitivo del AVE, que nació como una idea peregrina del autor de este libro ", según manifiesta en la dedicatoria que escribió en un ejemplar del libro que, hace unos ocho años,

adquirí en la librería Rubiños de Madrid, es persona de gran humanidad, trabajador infatigable, con conocimiento envidiable de la geografía española, y de la ubicación en ella de importantes complejos industriales, de actividad e imaginación inusitadas, y comunicativo hasta la temeridad (forzó incluso una breve conversación con el propio Rey de España, que cuenta en el libro, así como una espléndida anécdota del mismo sobre las grandes velocidades: “para qué queréis ir tan deprisa, si en poco más de dos horas os salís de España”, dice Muñiz que dijo el Rey cuando le hablaron de los trenes a 300 km/h).

El de Muñiz, es al menos un libro muy curioso y ameno, con muchos datos y anécdotas, algunas relacionadas con los viajes que hicimos los que intervinimos más directamente en la gestación del AVE, especialmente en el tramo más controvertido, el de Brazatortas – Córdoba. En este libro habla, además de su reivindicación de la idea que dio origen al AVE por Brazatortas – Córdoba, de otras ideas suyas algunas de las cuales no fructificaron, seguramente porque es más ingeniero que financiero. Pero tiene ideas e informaciones valiosas., y multitud de datos sobre asuntos tratados, personas, fechas,... Sobre el AVE, en concreto, tiene una valiosa cronología de 35 eventos.

7. DOCUMENTOS REDACTADOS POR EL AUTOR, RELACIONADOS CON LAS GRANDES VELOCIDADES FERROVIARIAS.

- DOC.1.** PLAN LARGO PLAZO (1980/1991). Estudios y Programas de Obras e Instalaciones. MEMORIA. Febrero de **1979**
- DOC.2.** PLAN GENERAL FERROVIARIO (1980 – 1991). VARIANTE PUERTOLLANO – CORDOBA. Estudio a escala 1: 50.000. Julio de **1979**
- DOC.3.** PLAN GENERAL FERROVIARIO (1980 – 1991). Notas para una Propuesta de fijación de los parámetros de infraestructura y gálibos de obra con mayor trascendencia económica.. Marzo de **1980**
- DOC.4.** PLAN GENERAL FERROVIARIO (1980 – 1991). Propuesta de parámetros de infraestructura y gálibos de obra. (Nuevos trazados exclusivamente). MEMORIA. Diciembre de **1980**
- DOC.5.** PLAN GENERAL FERROVIARIO (1980 – 1991). Propuesta de parámetros de infraestructura y gálibos de obra. (Nuevos trazados exclusivamente). PROPUESTA. Diciembre de **1980**
- DOC.6.** PLAN GENERAL FERROVIARIO (1980 – 1991). Propuesta de parámetros de infraestructura y gálibos de obra. (Nuevos trazados exclusivamente). ANEJOS. Diciembre de **1980**
- DOC.7.** PLAN GENERAL FERROVIARIO (1980 – 1991). Subgrupo de trabajo para la definición de los parámetros de infraestructura. Relación de parámetros, con indicación de sus Campos de Oscilación, Recomendaciones y Comentarios. Septiembre de **1981**.
- DOC.8.** Algunos problemas relacionados con la concepción y el proyecto de nuevos trazados ferroviarios. Simposio sobre técnicas avanzadas en proyecto, construcción y conservación de la vía. A.I.T. Madrid nov.**1981**
- DOC.9.** Fundación Gómez Pardo. Primer curso de ingeniería de túneles. Notas sobre “ Proyecto de túneles ferroviarios ”. Abril de **1986**.
- DOC.10.** Nota sobre los efectos aerodinámicos y los túneles del nuevo trazado Brazatortas – Córdoba(Velocidades de hasta 250 km/h.). Diciembre de **1986**.
- DOC.11.** Estudio preliminar de optimización de las rampas de acceso al túnel ferroviario de Gibraltar. Diciembre de **1987**.
- DOC.12.** Congreso Internacional sobre los Túneles y el Agua. Pendientes de las rampas de acceso a un eventual túnel ferroviario bajo el Estrecho de Gibraltar. Junio de **1988**.
- DOC.13.** Sección libre de los túneles de la variante ferroviaria N. – N.O. Madrid – Valladolid. Febrero de **1989**.

- DOC.14.** Jornadas sobre las obras subterráneas de la Assoc. Maroc. Travaux Souterr.. La Gran Velocidad y los túneles ferroviarios. Marzo de **1989**.
- DOC.15.** La Gran Velocidad y algunos efectos aerodinámicos en los túneles ferroviarios. Monografía AETOS nº 2 sobre Ingeniería de Túneles. Noviembre de **1989**.
- DOC.16.** Curso sobre el impacto ambiental de la alta velocidad ferroviaria. El impacto económico del impacto ambiental. Marzo de **1992**.
- DOC.17.** Algunos efectos aerodinámicos y los túneles de la línea de alta velocidad Madrid – Sevilla. Informes de la Construcción, nº 420, julio - agosto de **1992**.
- DOC.18.** Simposio Sobre Grandes Túneles. Túnel submarino a través del Estrecho de Gibraltar. Aspectos principales de las ingenierías funcional y constructiva. **Septiembre 1992**.
- DOC.19.** Estudio ferroviario de un túnel a través del Estrecho de Gibraltar. Junio de **1993**
- DOC.20.** Notas sobre el contenido de un eventual estudio de definición de los principales parámetros geométricos de un túnel ferroviario bajo el estrecho de Gibraltar. Marzo de **1994**.
- DOC.21.** Notas sobre la definición de un Estudio para la obtención de la sección transversal de un túnel ferroviario, habida cuenta de los efectos aerodinámicos. Enero de **1995**.
- DOC.22.** Estudio para la obtención de la sección transversal libre de un túnel ferroviario, habida cuenta de los efectos aerodinámicos. Aplicación a 10 túneles de la línea de alta velocidad Madrid – Barcelona. Marzo de **1995**.
- DOC.23.** Determinación de la sección transversal libre de 14 túneles del tramo Madrid – Zaragoza de la línea de alta velocidad Madrid – Barcelona – Frontera Francesa.. Febrero de **1998**.
- DOC.24.** Pruebas sobre las variaciones de presión y sus efectos en las personas al circular por los túneles de la línea AVE Madrid - Sevilla. Marzo de **1998**,
- DOC.25.** Informe final sobre la definición de la sección transversal del túnel de Guadarrama. Agosto de **1999**.
- DOC.26.** Preguntas a EUROTUNNEL en relación con el Túnel bajo el Chunnel (Túnel bajo el Canal de la Mancha o Manga) que pueden ser de interés para el túnel de Guadarrama. Septiembre de **1999**.
- DOC.27.** Asesoría a PROINTEC en el diseño aerodinámico y funcional de los túneles de la Línea de Alta Velocidad Córdoba – Málaga. Vol.1.Sobre las secciones libres de los túneles. Enero de **2001**.
- DOC.28.** Notas sugeridas por la lectura de las “ RECOMENDACIONES PARA DIMENSIONAR LA SECCIÓN DE TÚNELES FERROVIARIOS DE ALTA VELOCIDAD POR EFECTOS AERODINÁMICOS. “ Febrero de **2001**
- DOC.29.** Asesoría a PROINTEC en el diseño aerodinámico y funcional de los túneles de la Línea de Alta Velocidad Córdoba – Málaga. Vol.2.Sobre la configuración transversal de los túneles, medidas de seguridad ligadas a la infraestructura, y paseos de evacuación y servicio. Marzo de **2001**.
- DOC.30.** Estudio de peraltes, transiciones y sobrecanchos de las líneas de FEVE. Febrero 1991.