

LA ELECCIÓN DEL TRAZADO DE LAS NUEVAS LÍNEAS DE FERROCARRIL EN EUROPA. LA RELACIÓN MADRID-BARCELONA

Andrés López Pita.
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Catedrático de Ferrocarriles.
E.T.S. Ingenieros de Caminos de Barcelona.

RESUMEN

La elección del trazado de una nueva línea de ferrocarril es el resultado final de la consideración de numerosas variables.

La experiencia en el ámbito europeo pone de relieve que no hay criterios universales y que cada corredor presenta unas características propias que convierten en singular su propia problemática. El presente estudio pretende exponer un conjunto de reflexiones sobre determinados aspectos que concurren en la elección del trazado de la nueva conexión entre Madrid y Barcelona, actualmente en curso de estudios.

ABSTRACT

The route for a new railway line is chosen only after consideration of a large number of variables.

Experience in Europe shows that there are no universal criteria and that each corridor has different problems to be overcome. This article examines those involved in selecting the route for the new Madrid-Barcelona link currently under study.

Se admiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
enero de 1997.

Recibido en ROP:
octubre de 1996

1. INTRODUCCIÓN

Desde comienzos de la década de los años 70, una actividad común a la mayor parte de los países europeos, ha sido la construcción de nuevas infraestructuras aptas para la introducción de servicios de calidad en la oferta ferroviaria para el transporte de viajeros a media y larga distancia.

En la actualidad, la extensión de las referidas líneas alcanza (cuadro 1) los 2420 km, incluyendo los 14 primeros kilómetros de la nueva conexión que por ferrocarril unirá la frontera francesa con Bruselas en 1998.

En un horizonte que puede situarse en el inicio del próximo siglo, es decir, aproximadamente en los próximos cinco años, la que ha venido en denominarse red europea de alta velocidad, se prolongará en unos 1000 km suplementarios (cuadro 2).

En todo caso se dispone ya de una cierta experiencia respecto a los criterios geométricos que han presidido el proyecto de trazado de estas nuevas infraestructuras. Criterios que han ido evolucionando en función, tanto de los avances producidos en las prestaciones del material ferroviario, como en base a la necesidad de configurar una oferta de mayor calidad para hacer frente al desarrollo de la infraestructura viaria y de los servicios aéreos. En las referencias (1) y (2) pueden encontrarse algunos datos concretos sobre esta problemática.

En el presente escrito nos proponemos abordar otros aspectos a tener en cuenta cuando se trata de seleccionar la alternativa de trazado que

más convendría a una relación dada, con una aplicación específica al caso de la nueva línea Madrid-Barcelona.

En efecto, en el momento actual y, como se sabe, se encuentran en fase de análisis, por parte de la Administración Central, las diferentes posibilidades de enlazar Lleida con Barcelona en el marco general de la nueva línea de ferrocarril que en los próximos años deberá unir, de acuerdo con los programas vigentes, Madrid con la ciudad condal.

En el citado análisis, una de las cuestiones que ha sido planteada, quizás la de mayor relevancia, es el interés de aproximar la traza al campo de Tarragona o bien adoptar una alternativa de paso más hacia el interior siguiendo, desde las proximidades de la población de l'Espluga de Francolí, un trazado relativamente paralelo a la autopista hasta la Bisbal del Penedès.

La primera opción beneficiaría al triángulo poblacional de Reus, Valls y Tarragona, en detrimento de un alargamiento en la distancia Madrid-Barcelona y de un previsible incremento en el tiempo de viaje entre ambas poblaciones.

En este contexto, la exposición que se efectuará a continuación pretende aportar algunos elementos al proceso de reflexión en curso, a través de: la experiencia que se deriva de las líneas ya construidas en Europa; los avances experimentados por las ramas de alta velocidad y finalmente de la importancia de los servicios regionales de elevada calidad.

2. LAS PRIMERAS NUEVAS LÍNEAS DE ALTAS PRESTACIONES EN ITALIA Y ALEMANIA

Las primeras ideas sobre la necesidad de construir nuevos trazados de ferrocarril surgen, como es conocido, a mediados de los años 60, al plantearse básicamente como respuesta a los problemas de falta de capacidad existentes en algunas secciones de determinadas líneas en Alemania e Italia.

Su trazado, apto para circulaciones a alta velocidad (en aquel momento $V > 200$ km/h) se inscribió en un doble argumento: la perspectiva temporal con que debía considerarse el proyecto de una obra lineal como la que nos ocupa, con una vigencia de al menos 75 a 100 años, y también las posibilidades que la técnica ferroviaria ofrecía o que razonablemente podría ofrecer en un horizonte a medio plazo, para alcanzar con seguridad e inte-

CUADRO 1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NUEVAS LÍNEAS DE FF.CC. EN EUROPA 1981-1996

PAÍS	LÍNEA	EXTENSIÓN (km)		%
		(Parcial)	(Total)	
ALEMANIA	Hannover-Wurzburg Mannheim-Stuttgart	327 100	427	18
BELGICA	Esplechin-Antoing	14	14	----
ESPAÑA	Madrid-Sevilla	471	471	20
FRANCIA	París-Lyon	417		
	TGV-Atlántico	282		
	Contorno de Lyon	38		
	TGV-Norte	333		
	Rhône-Alpes	115		
	Interconexión TGV Norte-TGV Sudeste	75	1.260	52
ITALIA	Roma-Florenia	248	248	10

rés económico nuevos niveles de prestaciones en términos de velocidades máximas y por tanto comerciales.

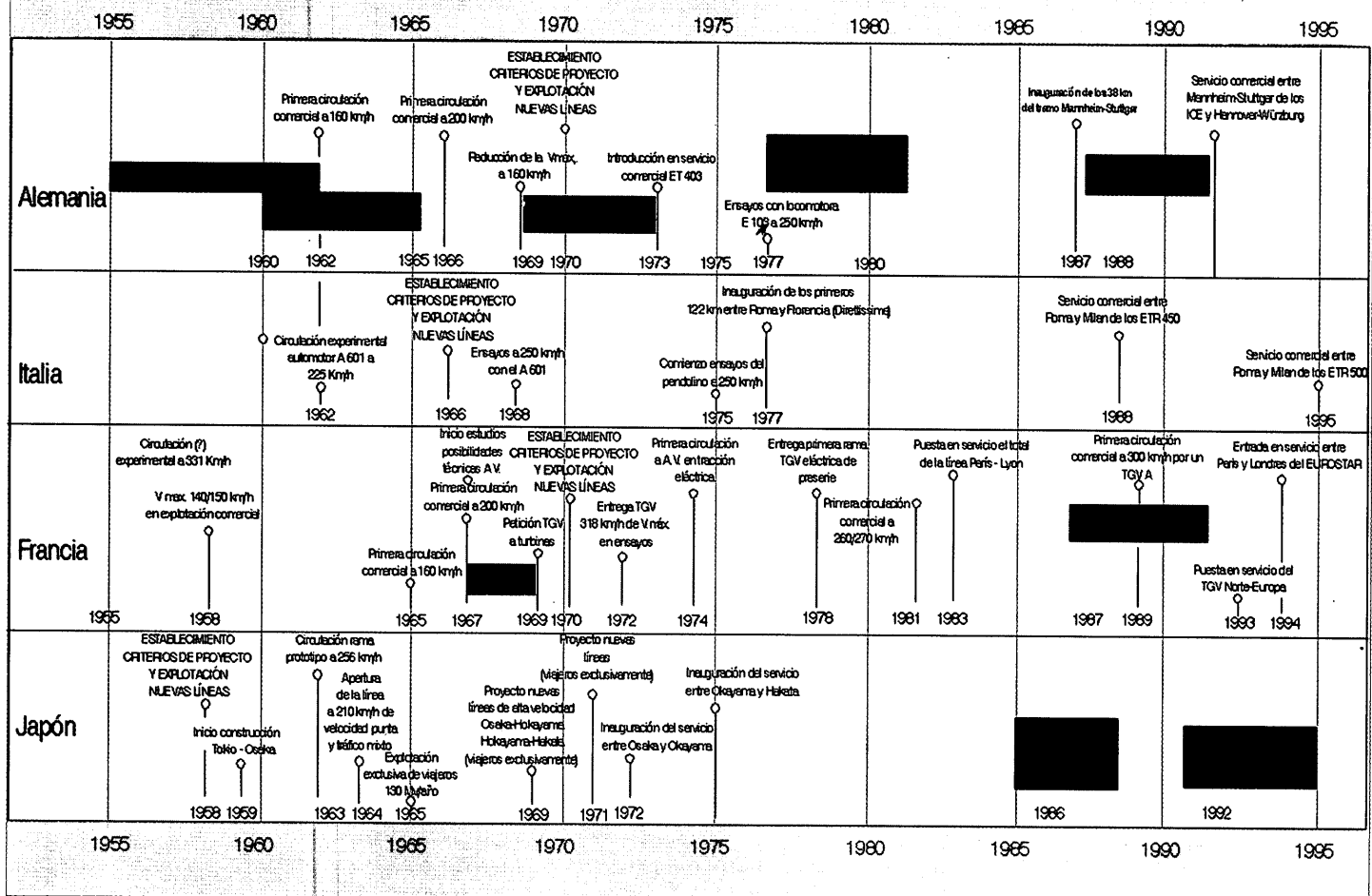
Por lo que respecta a la capacidad, el cuadro 3 sintetiza la problemática que se planteaba en la década de los sesenta en aquellos corredores italianos y alemanes en donde se construyeron las primeras infraestructuras europeas de altas prestaciones. Nótese como se estaba próximo del criterio de saturación o incluso se sobrepasaba.

En lo que concierne a la velocidad de diseño de las nuevas líneas, es de interés recordar que la experiencia disponible en Italia y Alemania se situaba a comienzos de los años 70, en el intervalo de los 250 y 200 km/h respectivamente (figura 1) siempre en el ámbito de las circulaciones de ensayo que no comerciales.

CUADRO 2. PREVISIBLE SITUACIÓN EN EL HORIZONTE 2000/2001 DE LÍNEAS DE ALTA VELOCIDAD EN EUROPA

PAÍS	SITUACIÓN EN 1996 (km)	NUEVAS LÍNEAS EN 2000/2001 (km)	LONG. TOTAL (km) EN 2000/2001	%
ALEMANIA	427	Colonia-Francfort (186) Hannover-Berlin (158) Total parcial 344	771	22
BÉLGICA	14	Lille-Bruselas (84) Total parcial 84	84	2
ESPAÑA	471	Ricla-Calatayud (35) Zaragoza-Lleida (137) Total parcial 172	643	18
FRANCIA	1.260	Valence-Marsella-Nimes (240) Total parcial 240	1.500	42
ITALIA	248	Roma-Nápoles (220) Bologna-Florencia (77) Total parcial 297	545	15
TOTAL	2.420	1.137	3.543	100

Figura 1: Escenario tecnológico del ferrocarril en el momento del establecimiento de los criterios de diseño y explotación de las primeras líneas de alta velocidad y su evolución posterior. Fuente: A. López Pita.



No es de extrañar, por tanto, que la elección del trazado en estas primeras líneas no plantease otro objetivo esencial que lograr el máximo paralelismo posible con las infraestructuras ya existentes, de forma que los numerosos puntos de conexión que se establecían entre ambas líneas, permitieran una asignación relativamente indiscriminada, del tráfico por una u otra vía en función de las necesidades de explotación en cada momento. Esta realidad puede apreciarse en la fig. 2 para la nueva línea Roma-Florenia y en la fig. 3 para la nueva conexión Mannheim-Stuttgart.

Es evidente, sin embargo, que la diferencia existente entre los radios de las líneas clásicas (< 1500 m en general) y las nuevas (radios mínimos de 3250 y 5200 m respectivamente en Italia y Alemania) dio lugar a ciertas reducciones en las distancias por ferrocarril entre las citadas ciudades (del orden del 20% en ambos casos) cuando fueron construidas las nuevas infraestructuras ferroviarias.

La realización de la nueva línea Hannover-Wurzburg se inscribe en términos temporales en el mismo período de ejecución que las conexiones mencionadas con anterioridad, pero su problemática será abordada de forma detallada en el apartado siguiente.

3. EL CONTEXTO EUROPEO DE REFERENCIA EN EL ÁMBITO DE LA SELECCIÓN DE ITINERARIOS PARA LAS NUEVAS LÍNEAS DE FERROCARRIL

La nueva línea de ferrocarril entre Madrid y Barcelona presenta una cierta analogía con el establecimiento de infraestructuras de altas prestaciones entre las dos poblaciones europeas de mayor entidad en el interior de países como Italia y Francia, o bien entre dos aglomeraciones de indudable importancia como son Hamburgo (2 millones de habitantes) y Frankfurt (2,15 millones de habitantes) en Alemania.

Se estima, por tanto, de interés exponer brevemente cuáles son las tendencias (cuando no realizaciones ya en servicio) en lo que concierne a la elección del trazado para las nuevas líneas de ferrocarril situadas en los corredores indicados en la fig. 4.

Adoptando el orden expositivo que se deriva de la cronología temporal con que fueron decididos los respectivos trazados, comenzaremos por el caso alemán.

CUADRO 3. CARACTERÍSTICAS DE TRÁFICO Y TRAZADO EN ALGUNOS ITINERARIOS EUROPEOS CON ANTERIORIDAD A LA CONSTRUCCIÓN DE NUEVAS LÍNEAS DE FERROCARRIL

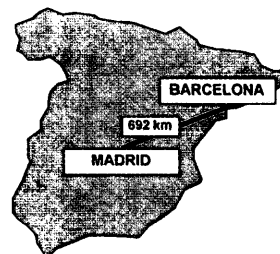
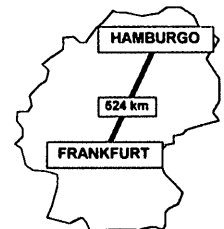
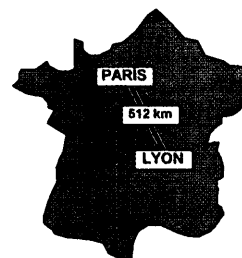
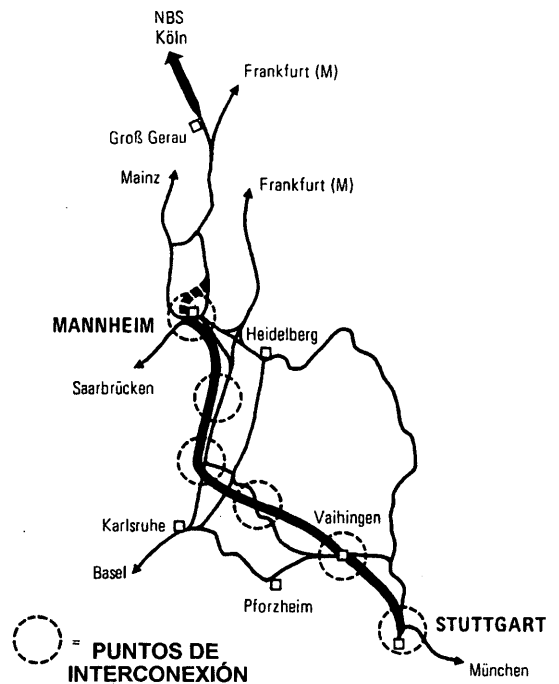
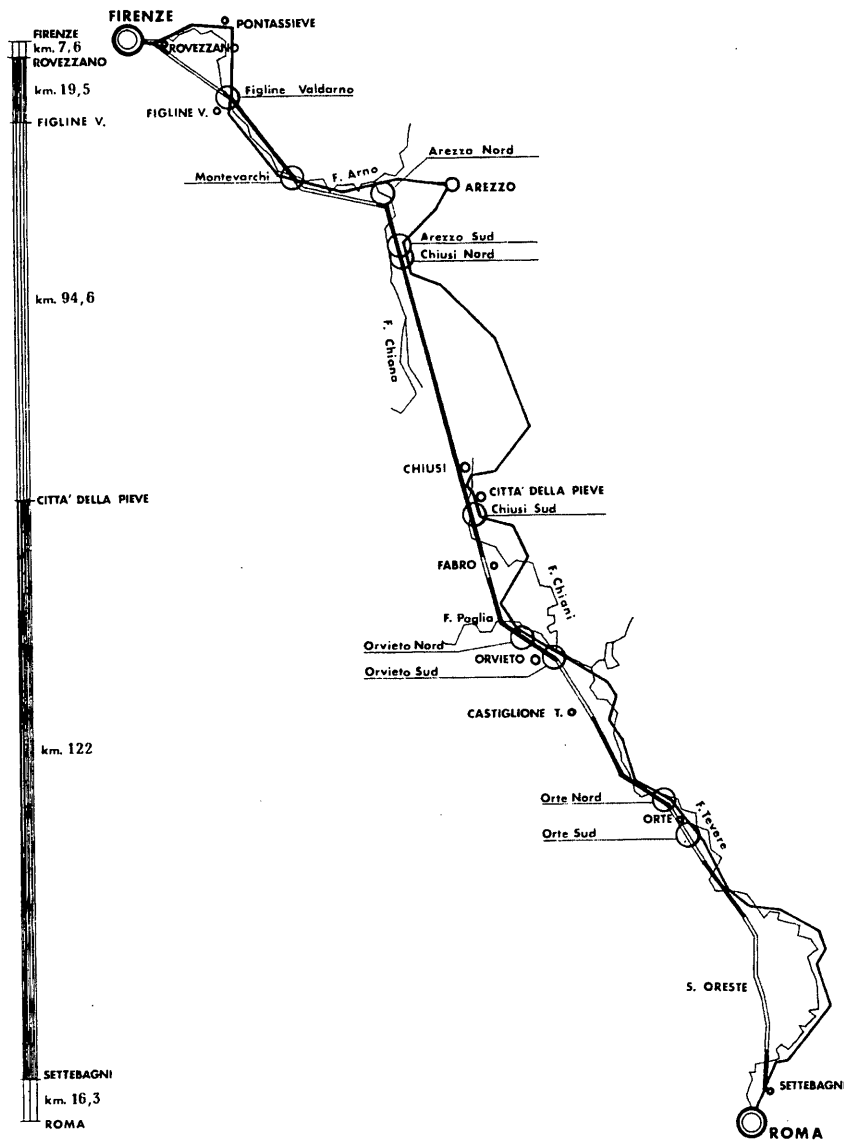
LÍNEA	CARACTERÍSTICAS DE:		OBSERVACIONES
	TRAZADO	TRÁFICO	
Roma-Florenia	Doble vía	Tramo más cargado: 220 trenes/día	Durante $\approx$ 45% del recorrido $V_{\text{máx}} \leq 105$ km/h
Hannover-Wurzburg	Doble vía	Tráfico en días punta: 370 trenes/día	El 37% del trazado presenta curvas de radio reducido.
Mannheim-Stuttgart	Doble vía	Trafico en días punta: 300 trenes/día	$V_{\text{máx}} = 60/70$ km/h en algunos tramos.

3.1 LA RELACIÓN HAMBURGO-FRANKFURT

La relación Hamburgo-Frankfurt (527 km por la línea tradicional) quedará configurada en el horizonte del año 2003/2005, por tramos de nueva construcción (Hannover-Fulda, de 234 km y Hannover-Rotemburg de aproximadamente 80 km) y tramos modernizados para circular a 160/200 km/h de velocidad punta; entre otros, Frankfurt-Fulda (~ 104 km). La distancia actual se verá reducida en unos 40 km.

La observación de la fig. 5 invita a pensar si a partir de Kassel el trazado de la nueva línea hasta Hannover, no habría podido seguir una alineación más rectilínea para acortar la distancia en el corredor Hannover-Frankfurt.

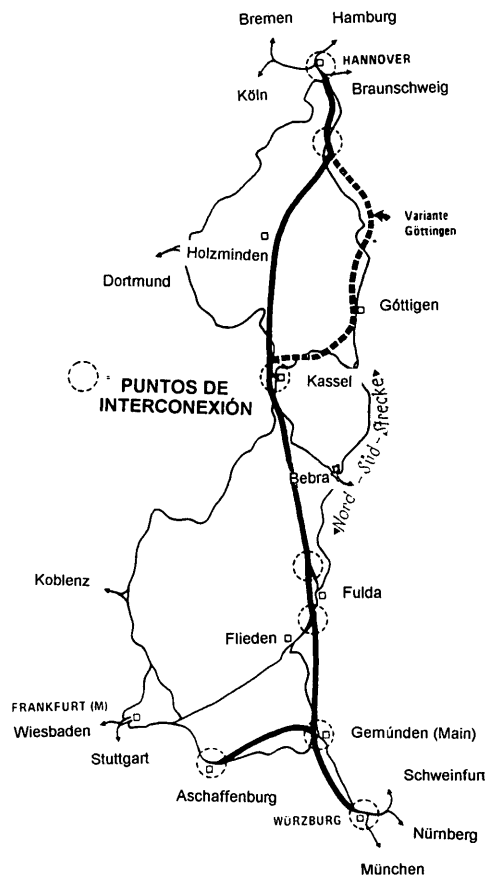
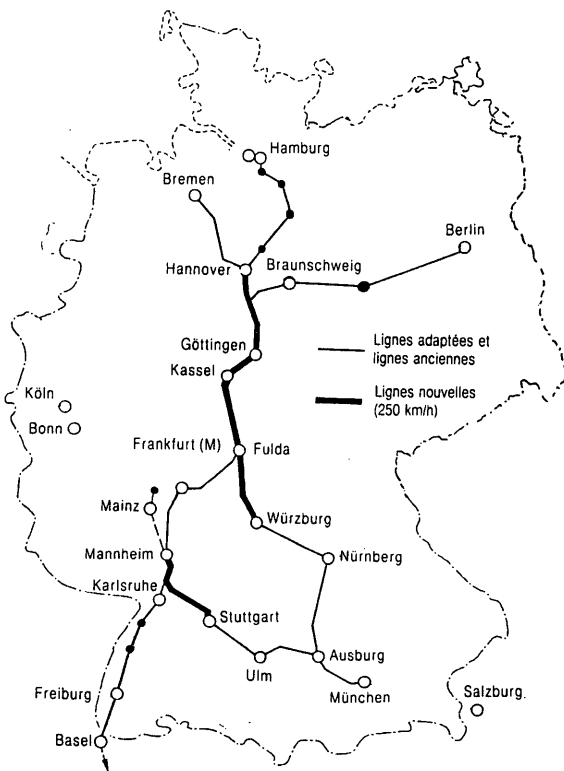
En relación con esta cuestión es útil contemplar (fig. 6) como la propuesta inicial de los ferrocarriles alemanes se orientaba hacia un itinerario vía Holzminden, evitando el paso por Gottingen, población de unos 130.000 habitantes. La antigua DB defendía que su propuesta suponía: reducir la distancia Kassel-Hannover en 20 km; evitar un tramo eminentemente subterráneo entre Kassel y Gottingen (que incrementaba sensiblemente la in-



versión), y disminuir el tiempo de viaje en aproximadamente 10 a 13 minutos. En caso de adoptarse la alternativa de paso por Gottingen, se estimaba una pérdida total de 1,1 millones de horas-viajeros cada año. La decisión final se orientó, a pesar de las reflexiones precedentes, a establecer la nueva línea vía Gottingen.

Es también de interés destacar que a diferencia del sistema de explotación adoptado en algunas líneas europeas, el modelo alemán se basa en introducir, en trayectos de largo recorrido (500 a 700 km) un significativo número de paradas. Como referencia cabe mencionar que todos los servicios ICE desde Hamburgo a Frankfurt, se detie-

Figura 2:
Interconexión de
Líneas en la Relación
Roma-Florenia,
a la derecha, arriba,
figura 3: Nueva línea
Mannheim-Stuttgart,
debajo, figura 4:
Distancia por ferrocarril
entre las principales
poblaciones de algunos
países europeos.



Figuras 5 y 6:
Conexión
Hannover-Frankfurt
y Corredor
Hannover-Frankfurt

nen en Göttingen, 20 minutos más tarde en Kassel y 30 minutos después de esta última parada en Fulda.

Este modelo de explotación determina que si bien las velocidades comerciales sin paradas se sitúan en el entorno de los 200 km/h en algunas secciones (Kassel-Fulda, 93 km y Hannover-Göttingen 99 km) en distancias superiores (Hannover-Würzburg 327 km) la prestación desciende a los 174 km/h, incluyendo tres paradas en el recorrido.

Con este nivel de oferta el ferrocarril tiene en la actualidad, en la relación Hamburgo-Frankfurt, una cuota de mercado del 39%, frente al 34% de la carretera y el 27% de la aviación. El tiempo de viaje del ICE entre ambas ciudades es de 3h 22'.

Señalar finalmente, que la velocidad máxima autorizada normalmente para el ICE en las nuevas líneas es de 250 km/h que se eleva a 280 km/h en caso de retrasos, o de la existencia de trabajos en la línea.

Las nuevas ramas ICE está previsto que circulen a una velocidad punta de 330 km/h allí donde el trazado lo permita y los criterios comerciales lo aconsejen.

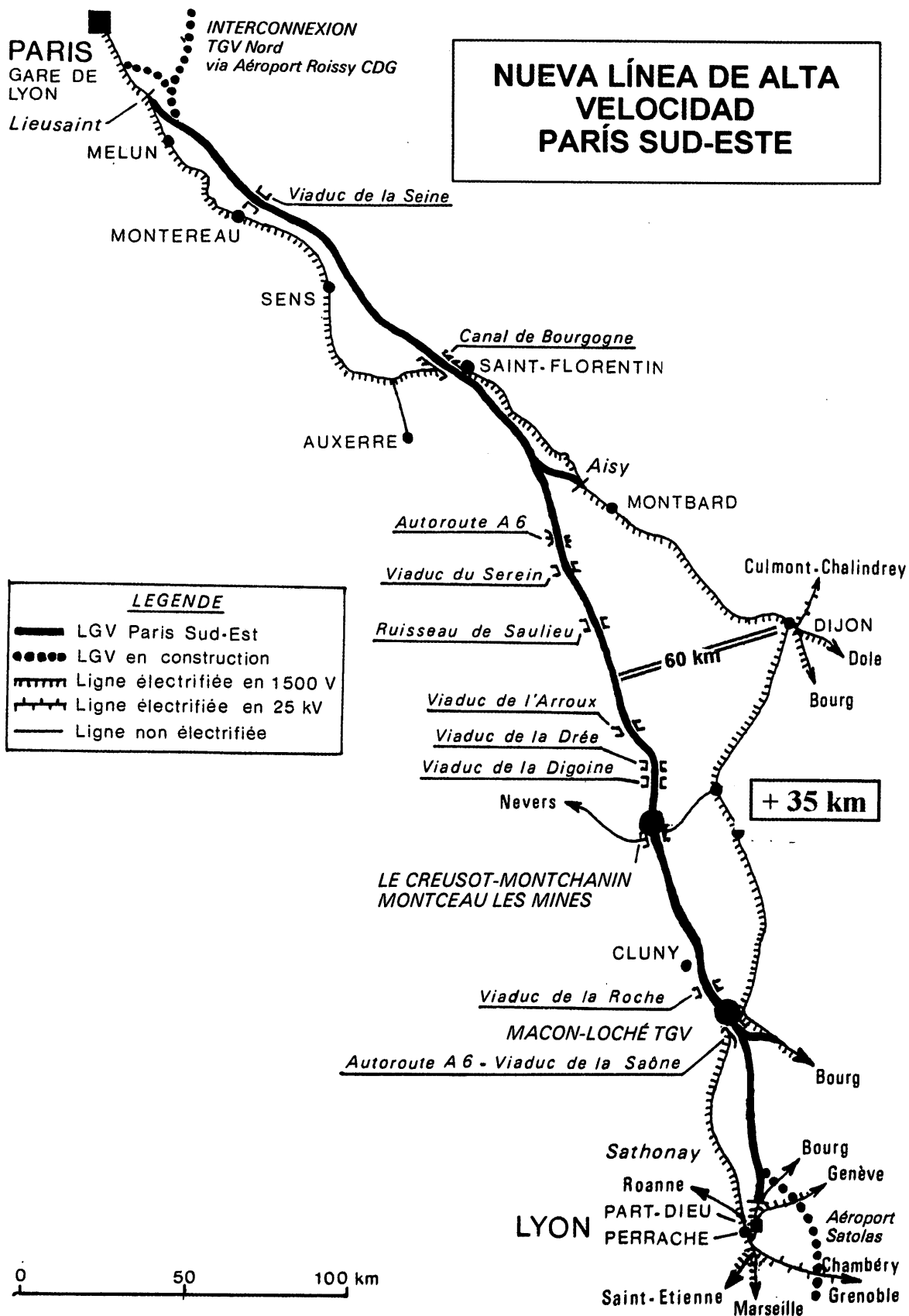
3.2 LA RELACIÓN PARÍS-LYON

De un modo formal puede afirmarse que el origen de la nueva línea entre París y Lyon, inaugurada parcialmente en 1981, fue el mismo que el indicado con anterioridad para las primeras líneas italianas y alemanas. De hecho en la sección francesa comprendida entre St. Florentin y Dijon se alcanzaban ya en los años 70, las 250 circulaciones/día por el trazado existente equipado en vía doble.

No es menos cierto, no obstante, que la experiencia alcanzada por la SNCF en el dominio de las circulaciones por encima de los 250 km/h e incluso 300 km/h (fig. 1) y el declinar de la cuota de mercado en el tráfico de viajeros a media y larga distancia, debido, entre otras causas, al desarrollo de la aviación comercial, aconseja la elección de un nuevo trazado entre París y Lyon que, junto a la tecnología disponible en el material ferroviario, posibilitase la implantación de una oferta de transporte competitiva respecto a la aviación.

De este modo, la nueva línea tuvo una longitud inferior a la existente en unos 86 km, lo que repre-

Figura 7.



sentaba un acortamiento de ~ 17%. Como muestra la fig. 7 el nuevo trazado pasó a una distancia de unos 60 km de la población de Dijon (216.000 habitantes) que anteriormente estaban servidos por el ferrocarril convencional, representando esta decisión una reducción de distancia de unos 35 km en el recorrido entre París y Lyon.

La referida población quedó servida por las composiciones TGV a través del ramal establecido entre la nueva línea y la vía existente hacia Aisy (fig. 7).

Como se sabe la velocidad de circulación máxima en esta relación es de 270 km/h (lo que proporciona una comercial de 213 km/h), estando prevista su elevación hasta los 300 km/h a medida que los actuales trabajos de modernización y renovación de vía (iniciados a mediados del pasado mes de marzo de 1996), lo vayan permitiendo. La cuota de mercado del ferrocarril, en esta línea, respecto a la aviación es del 92%, para un tiempo de viaje de 2h entre París y Lyon.

3.3 LA RELACIÓN ROMA-MILÁN

En lo que respecta a Italia centraremos la reflexión en la conexión Roma-Milán. Su distancia actual por ferrocarril convencional es de 626 km, que es recorrida por el tren más rápido en 4 horas, lo que representa una velocidad comercial de 157 km/h.

En el futuro y tal como muestra el cuadro 4, la distancia quedará reducida a 554 km, que al ser efectuados en 3h15' permitirá elevar la prestación comercial a 170 km/h.

Nótese como las velocidades comerciales se situarán en el intervalo de los 170 a 185 km/h exceptuando la relación Florencia-Bolonia a causa de las dificultades orográficas a salvar.

En el ámbito del trazado la nueva conexión ferroviaria entre Roma y Milán presenta un significativo paralelismo con la existente, discuriendo por el itinerario clásico a través de las poblaciones de Florencia (460.000 habitantes) y Bolonia (490.000 habitantes), con enlaces de entrada a las ciudades de Módena, Parma, Fidenza, Cremona y Piacenza (fig. 8).

Es de interés destacar, no obstante, que un eventual itinerario que desde Florencia se dirigiese directamente a Milán sin pasar por Bolonia (fig. 9) permitiría acortar la distancia por ferrocarril entre Roma y Milán en unos 50 km suplementarios respecto a la magnitud indicada en el cuadro 4. De

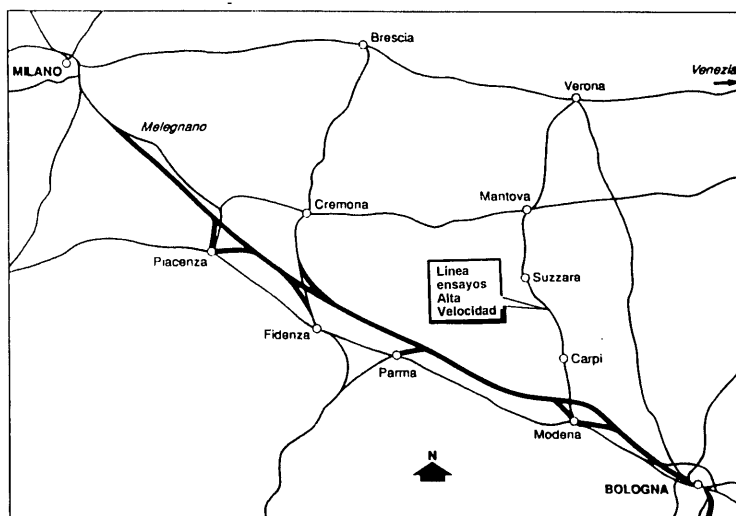
CUADRO 4. DISTANCIAS ACTUALES Y FUTURAS POR FERROCARRIL EN LA RELACIÓN ROMA-MILÁN

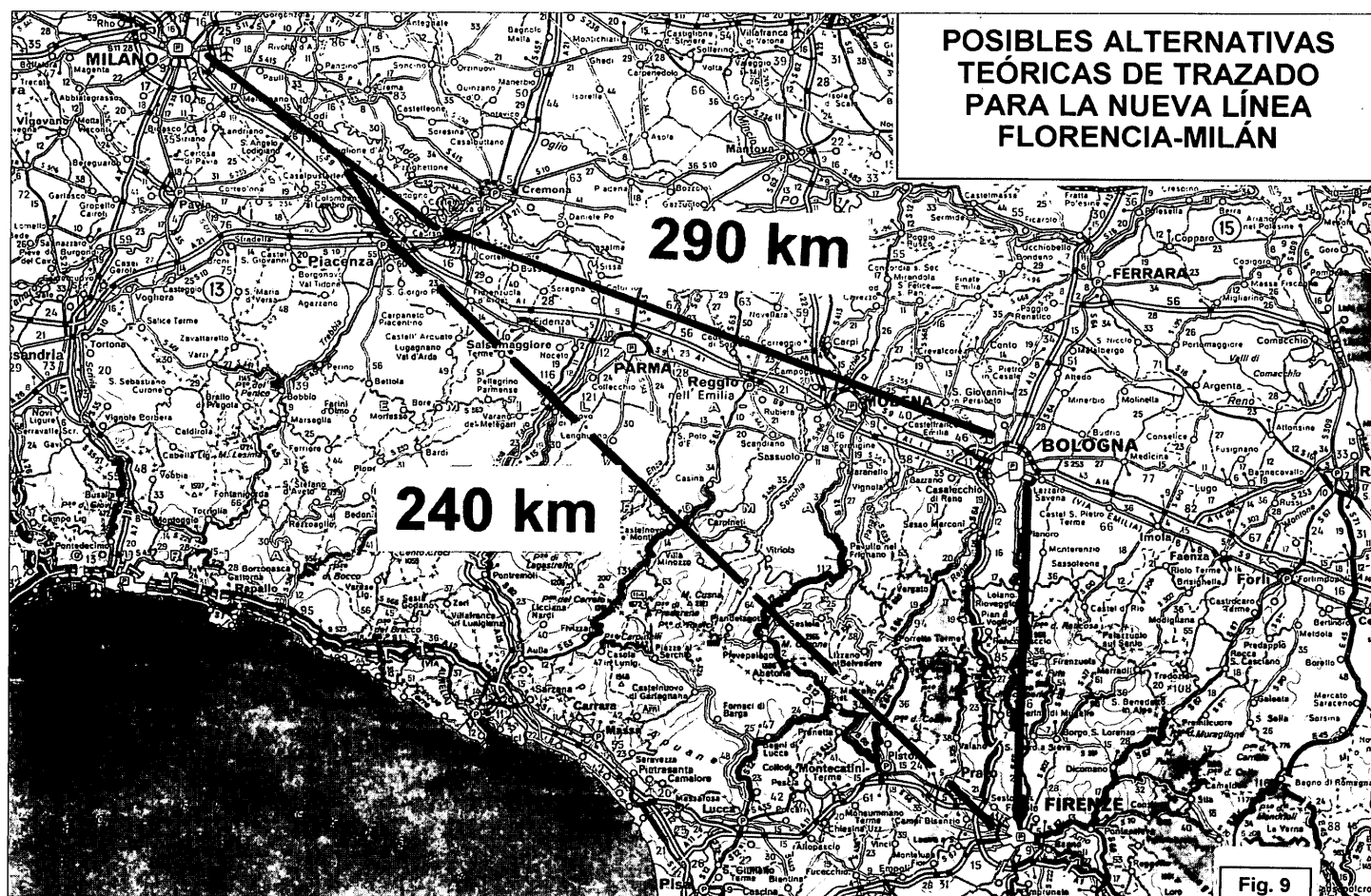
TRAMO	LONGITUD (km)		VELOCIDAD COMERCIAL POR LA NUEVA LÍNEA (km/h)
	LÍNEA CLÁSICA	NUEVA LÍNEA	
ROMA-FLORENCIA	312	262	185
FLORENCIA-BOLONIA	95	90	154
BOLONIA-MILÁN	219	202	186
ROMA-MILÁN	626	554	170

este modo la capital de la Lombardía quedaría en el entorno de los 500 km de distancia de Roma.

Si se admite, como hipótesis, una velocidad comercial próxima a los 180 km/h (coincidente con la previsión de la FS) la modificación precedente significaría que la oferta del ferrocarril en

Figura 8: Nueva Línea Milán-Bolonia.





Figuras 9.

tiempo de viaje podría ser, con el ETR 500, de 2h 45'.

Este tiempo de viaje y la reducción lograda respecto a la programación establecida (~ 30') se-

ría a valorar en el marco de la concurrencia de los servicios por ferrocarril con los servicios aéreos entre Roma y Milán. Se recuerda que en esta relación operan ya cuatro compañías aéreas (Alitalia, Air One, Noman y Meridiana) que realizan un tráfico superior a los 2,1 millones de viajeros/año.

Es evidente que a pesar del atractivo que presentaría una alternativa de trazado como la indicada, tanto por razones socio-económicas como por las dificultades orográficas que deberían superarse con la opción directa a Milán, la solución de paso por Bologna fue retenida.

3.4 LA RELACIÓN MADRID-SEVILLA

Para concluir este apartado mencionaremos la situación correspondiente a la nueva relación entre la Meseta Central y Andalucía.

Resulta bien conocido que este nuevo enlace ferroviario trataba de superar, en sus inicios, básicamente, los problemas de saturación existentes en Despeñaperros. En todo caso el trazado finalmente adoptado posibilitó una importante reduc-

CUADRO 5. LA REDUCCIÓN DE DISTANCIAS POR FERROCARRIL CON LA NUEVA LÍNEA MADRID-CÓRDOBA-SEVILLA

RELACIÓN	DISTANCIA (km)		REDUCCIÓN
	LÍNEA ANTIGUA	LÍNEA AVE	
MADRID-CÓRDOBA	442	341	23%
MADRID-SEVILLA	574	471	18%

ción en la distancia por ferrocarril de Madrid a Córdoba y Sevilla, tal como se muestra en el cuadro 5. Del orden del 20% como valor medio.

Con un tiempo de viaje para el tren más rápido entre Madrid y Sevilla de 2h 15' lo que supone (con una velocidad punta de 300 km/h) una velocidad comercial de 209 km/h, el ferrocarril tiene una cuota de mercado respecto al total de los modos del 45%, frente al 7% de la aviación.

Es de interés destacar, por último, que poblaciones como Ciudad Real y Puertollano, de aproximadamente 50.000 habitantes, quedaron insertadas en la nueva conexión ferroviaria. Ambos núcleos generan un tráfico, en los servicios de lanzadera, próximo al millón de viajeros/año, lo que representa el 26% del tráfico total en la nueva línea (larga distancia, lanzaderas y Talgo 200).

4. REFLEXIONES EN RELACIÓN CON LA ELECCIÓN DEL TRAZADO EN LA NUEVA LÍNEA MADRID-BARCELONA

Los estudios realizados hasta el momento por la Administración Central respecto al trazado de la nueva línea Madrid-Barcelona, parecen haber concluido con la mejor alternativa posible para el enlace Madrid-Zaragoza-Lleida, existiendo diversas opciones sobre la solución globalmente más conveniente para el tramo Lleida-Barcelona.

De un modo resumido el problema se plantea al considerar los itinerarios indicados en la fig. 10.

La alternativa más favorable a la distancia más corta entre Madrid y Barcelona, (relativamente paralela a la autopista hasta la Bisbal del Penedés) proporcionaría un trazado de 611 km que podría ser efectuado, de acuerdo con las estimaciones realizadas, en los referidos estudios, en un tiempo de viaje de 2h 40'.

La denominada alternativa Nulles, que transcurriría próxima a la población de Valls, incrementaría la distancia precedentemente indicada en unos 4 km y el tiempo de viaje en 2', siempre según los mencionados estudios.

Finalmente, la solución basada en el paso por Perafort, implicaría un aumento del recorrido de 16 km y del tiempo de viaje en unos 4'.

En el momento actual parecen existir dos enfoques en la búsqueda de la alternativa más adecuada. El primero tiene su principal argumentación en la idea de privilegiar la distancia más corta entre Madrid y Barcelona para poder configurar una oferta, en tiempo de viaje, lo más atractiva posible



Figura 10:
Alternativas de
trazado en la zona
de Tarragona.

y con ello la posibilidad de un mayor desvío del tráfico aéreo hacia el ferrocarril. La experiencia disponible en las líneas de alta velocidad ya en explotación en Europa refuerzan la importancia de la

**CUADRO 6. DISTANCIAS POR MODOS DE TRANSPORTE
EN LA RELACIÓN MADRID-BARCELONA**

MODOS	FF.CC.	CARRETERA	AVIÓN
DISTANCIA (km)	683	621	480
VARIACIÓN RELATIVA	100	91	70

CUADRO 7. DISTANCIAS EN Km. POR MODOS DE TRANSPORTE EN ALGUNAS RELACIONES EUROPEAS

MODO RELACIÓN	FF.CC.	CARRETERA	AVIÓN
Roma-Milán Índice	630 100	572 91	497 79
Hamburgo-Frankfurt Índice	527 100	509 96	414 78
París-Lyon Índice	512 100	456 89	401 78

variable tiempo. En consecuencia se pronuncia a favor de la alternativa de menor distancia.

El segundo enfoque apoya su argumentación en la idea de articular una oferta regional de servicios por ferrocarril de altas prestaciones entre las cuatro capitales catalanas, aprovechando la nueva infraestructura. De ahí la necesidad de aproximar el trazado lo más posible a las poblaciones de Tarragona, Reus y Valls. Se estima que el balance global considerando el incremento de tiempo a Barcelona por un lado, y la implementación de una red regional como la indicada sería más beneficioso para la colectividad.

La exposición que sigue a continuación pretende efectuar algunas consideraciones en la idea de mostrar que pudiera existir solución técnica que permitiese englobar de manera eficaz ambos enfoques.

1ª) La situación actual de distancias en cada modo

De una manera general puede afirmarse que la distancia por ferrocarril entre dos poblaciones dadas es superior a la existente por carretera y nota-

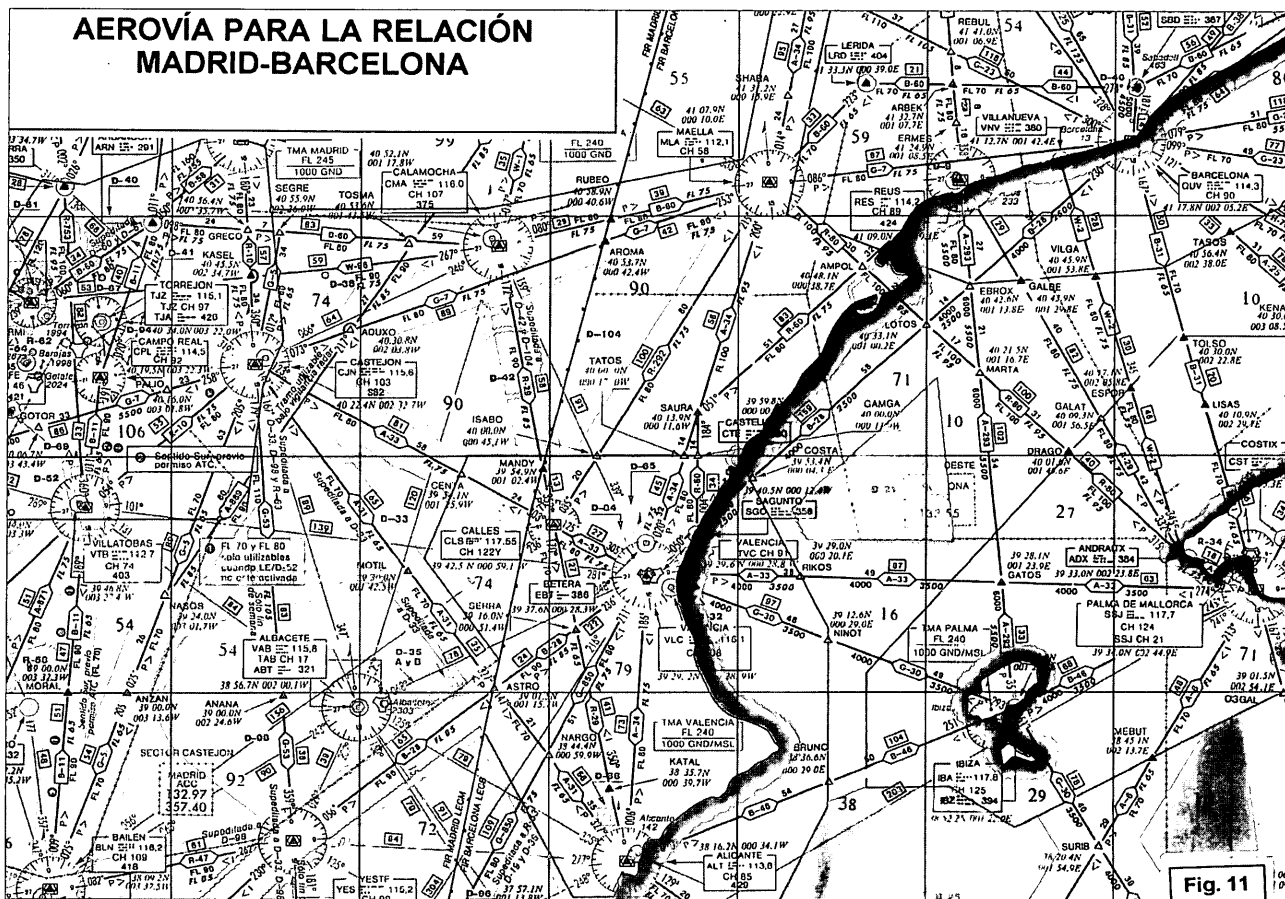
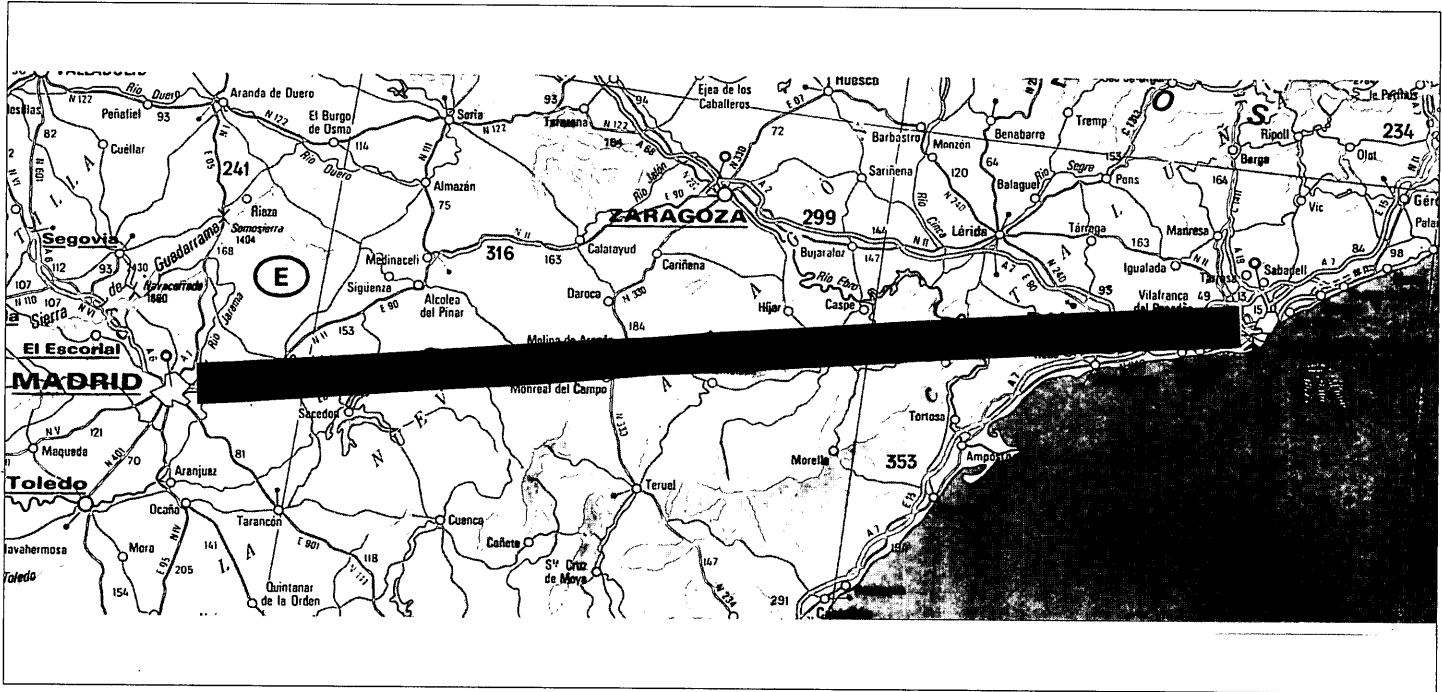


Figura 11.

Fig. 11



blemente mayor que la correspondiente al modo aéreo.

En el caso de la relación Madrid-Barcelona el cuadro 6, muestra la situación existente en términos absolutos y la variación relativa de la carretera y la aviación respecto al ferrocarril. El itinerario por carretera es un 9% inferior al del ferrocarril y el de la aviación aproximadamente un 30%.

Esta desfavorable situación del ferrocarril español presenta aspectos análogos a los que pueden encontrarse en otros países europeos como refleja el cuadro 7.

Desde esta perspectiva resulta indudable el interés de reducir al máximo la distancia por ferrocarril con la nueva línea, para la relación Madrid-Barcelona, de forma que se obtenga el máximo beneficio del binomio disminución de recorrido y aumento de la velocidad de circulación.

Como ilustración cabe señalar que con análoga velocidad comercial a la que alcanza el AVE más rápido entre Madrid y Sevilla (~ 209 km/h) el mantenimiento de la distancia correspondiente a la línea antigua (+100 km) supondría que en lugar de las actuales 2h 15' se invertirían 30' más en el recorrido.

2ª) La alternativa de mínima distancia

En la óptica de aproximar al máximo la oferta en tiempo de viaje del ferrocarril a la del avión resultaría evidente que el trazado de la nueva línea ferroviaria debería transcurrir siguiendo la aerovía

que comunica Madrid con Barcelona a través de Calamocha, Maella y Reus (Fig.11). Esta alternativa daría lugar a un itinerario como el indicado en la fig. 12 que posibilitaría un tiempo de viaje, con el nivel actual de prestaciones de las ramas de alta velocidad, comprendido entre las 2h15' y las 2h30'.

**Figura 12:
Alternativas de
FF.CC. de trazado
más corto para la
nueva línea
Madrid-Barcelona.**

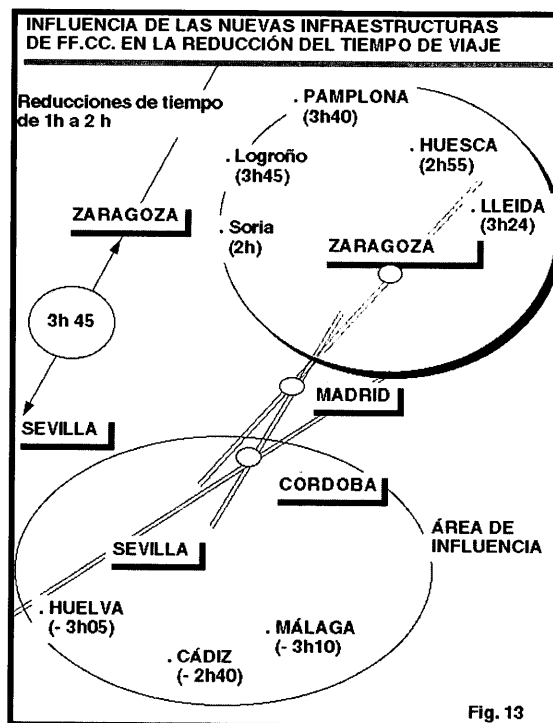


Figura 13.

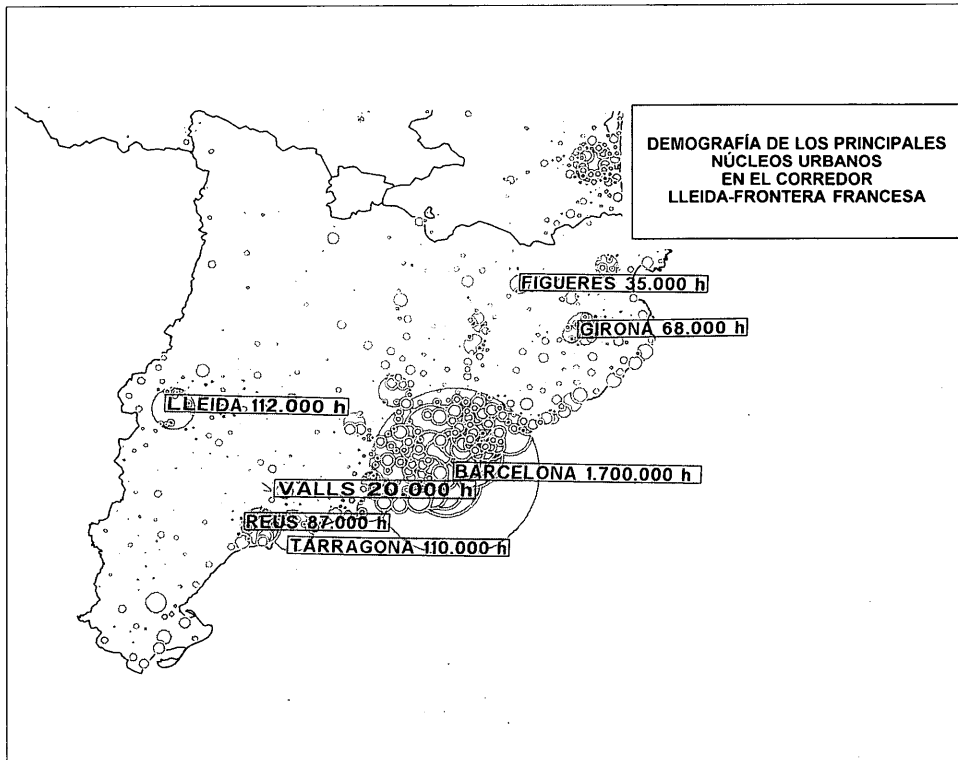


Figura 14.

3ª) La alternativa de paso por Zaragoza y Lleida

A causa de la elevada inversión que requiere una nueva infraestructura ferroviaria de altas prestaciones resulta obligado optimizar la utilidad de la misma. La demografía existente en Zaragoza (600.000 habitantes) y el encontrarse en el intervalo de distancias donde el ferrocarril puede ofrecer la máxima calidad de oferta (~ 300/400 km) hacen ineludible el paso de la nueva línea por ella.

Esta perspectiva se completa si se tiene en cuenta que la utilización de las composiciones Talgo de ancho variable, permitirán que un conjunto de ciudades como Pamplona, Logroño y Huesca entre otras se vean notablemente beneficiadas (fig. 13) por esta alternativa de trazado.

El paso por Lleida (~ 110.000 habitantes) es una decisión también tomada sin que aparentemente se hayan presentado serias dudas sobre un planteamiento contrario.

4ª) La demografía del conjunto Tarragona-Reus-Valls

La fig. 14, muestra la demografía que se presenta en los diversos corredores que desde Lleida conducen a Barcelona. Nótese como el conjunto de Tarragona y Reus, distantes 13 km entre sí por carretera, supera en población a la correspondiente a Lleida.

Este potencial en términos absolutos y la referencia relativa antes mencionada situaría la alternativa de paso más cercana a la costa en un lugar de preferencia.

5ª) La flexibilidad del sistema de explotación

La existencia de diversas estaciones a lo largo de una línea no implica que necesariamente todos los servicios deban detenerse en ellas. Sería razonable pensar, a título indicativo, en la introducción de servicios directos Barcelona-Madrid sin parada y otros servicios con paradas en la zona de Tarragona/Reus/Valls y Lleida que serían complementarios de los precedentes.

Esta situación se da ya entre Madrid y Sevilla donde existen servicios directos entre ambas ciudades, algunos con parada en Córdoba y otros que incluyen además paradas en Ciudad Real y Puertollano.

Como referencia exterior puede citarse el caso del Pendolino entre Roma y Milán en donde el servicio de mañana tiene paradas en Florencia y Bolonia, y el de tarde efectúa el recorrido sin detenerse en ningún punto intermedio (fig. 15).

6ª) Los corredores españoles de mayor tráfico

La fig. 16, pone de relieve que los dos corredores de mayor tráfico tanto de viajeros como de mercancías en España, son el que discurre entre el País Vasco, Navarra, Aragón y Cataluña por un lado, y el corredor del Mediterráneo por otro.

Esta realidad invita a pensar en la conveniencia de enlazar las nuevas conexiones ferroviarias previstas en el P.D.I: Y vasca y Corredor del Ebro con el Corredor Mediterráneo. En este contexto la adopción de la alternativa de Perafort parecería más adecuada, facilitándose de este modo servicios del tipo Valencia-Bilbao.

7ª) La potencialidad de una red regional de altas prestaciones

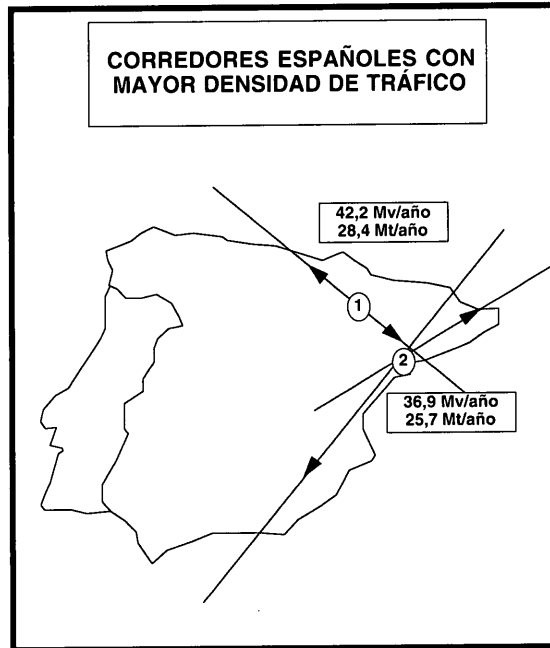
Los análisis preliminares efectuados por la Generalitat de Catalunya en relación con el interés de una red de servicios regionales de altas prestaciones entre Barcelona, Lleida, Tarragona/Reus/Valls y Girona, permiten apreciar la potencialidad de la misma.

Figura 15.

SERVICIOS EN LA RELACIÓN ROMA - MILÁN

		P 500 [R]	IE 560 [R]	PR 2138 [R]	PR 2140 [R]	EC 84 [R]	EC 30 [R]	E 1590 [R]	EC 52 [R]	P 504 [R]	IE 522 [R]	PR 2142 [R]	E 1228 [R]
km	Provenienza	■	Pescara	■	■	■	■	Siracusa	■	■	■	■	Pescara
	Napoli Centrale 85	3.54				M 4.26	4.26	4.52	5.24	5.50	5.50		
	Roma Termini	6.20				I 6.50	6.50		7.45	8.32	8.32		
0	Roma Termini 47	6.40				C 6.25	R 6.45		8.10	8.50	9.00		
5	Roma Tiburtina					C 6.25	R 6.45						
5	Roma Ostiense					C 6.25	R 6.45						
84	Orte					C 6.25	R 6.45						
126	Orvieto					C 6.25	R 6.45						
165	Chiusi-Chianciano Terme					C 6.25	R 6.45				10.08		
194	Terontola-Cortona					C 6.25	R 6.45				10.37		
229	Arezzo					C 6.25	R 6.45				10.37		
316	Firenze S. M. Novella 46	a. G 8.19				O 9.22	O 9.42	9.53	10.07	10.29	11.14		
316	Firenze S. M. Novella	a. I 8.22				O 9.31	O 9.51	10.02	10.16	10.32	11.23		
333	Prato	a. O				O 10.31	O 10.51	11.32	11.16	11.26	12.20		
413	Bologna Centrale 45	a. T 9.10						11.37	11.20		12.24	12.38	12.57
	Bologna Centrale	O 9.13	O 9.23	9.38	10.30						12.44	12.59	
450	Modena			10.00	10.53						12.59	13.14	
475	Reggio Emilia			10.15	11.09						13.14	13.31	
503	Parma			10.33	11.26						13.14	13.31	
525	Fidenza			10.46	11.40						13.28	13.44	
539	Fiorenzuola			10.55	11.51						13.54	14.19	
560	Piacenza			11.11	12.10						14.19	14.57	
572	Codogno												
577	Casalpusterlengo												
596	Lodi			11.30	12.29								
628	Milano Rogoredo	a. a. I 11.46		12.48	13.07								15.01
628	Milano Lambrate	a. a. I 12.55											
632	Milano Porta Garibaldi	a. a. I 13.07											
632	Milano Centrale	a. a. I 10.50	O 11.10	12.00				13.35	13.10		14.32	15.10	
		IE 716 [R]	IE 530 [R]	D 3310 [R]	P 518 [R]	PR 2146 [R]	IE 532 [R]	IE 534 [R]	PR 2316 [R]	PR 2148 [R]	E 200 [R]	IE 536 [R]	IE 718 [R]
km	Provenienza	■	■	■	■	Ancona	■	Salerno	■	Ancona	Rimini	■	■
	Napoli Centrale 85	10.52	11.15	11.15	12.12		12.12	13.00	12.15			12.15	
	Roma Termini	a. M 12.50	13.35	13.35	14.15		14.15	15.05	15.05			15.05	
0	Roma Termini 47	A 13.45	O 14.10	14.25	14.45		15.00	15.35				16.05	M 16.15
5	Roma Tiburtina	R 13.45		14.32				15.10					
5	Roma Ostiense	C 13.45		15.08				16.14					
84	Orte	O 13.45		15.43				16.38					
126	Orvieto			16.10				17.05					
165	Chiusi-Chianciano Terme	P 16.26		16.53				17.43					
194	Terontola-Cortona	O 16.53		17.50				18.24					
229	Arezzo	L 16.53											
316	Firenze S. M. Novella 46	a. O 15.51	O 16.06					17.06					
316	Firenze S. M. Novella	a. G 16.00	O 16.15					17.15					
333	Prato	a. A 16.00						17.15					
413	Bologna Centrale 45	a. T 17.00	O 17.23					18.05					
	Bologna Centrale	O 17.27						18.19					
450	Modena							18.35					
475	Reggio Emilia							18.57					
503	Parma							19.12					
525	Fidenza							19.28					
539	Fiorenzuola							19.41					
560	Piacenza							19.50					
572	Codogno							20.04					
577	Casalpusterlengo							20.23					
596	Lodi												
628	Milano Rogoredo	a. a. I 18.26						19.52					
628	Milano Lambrate	a. a. I 18.38						20.05					
632	Milano Porta Garibaldi	a. a. I 18.54						20.07					
632	Milano Centrale	a. a. I 19.15				18.45	19.08		20.50	20.55	21.00		

Figura 16.

**CUADRO 8. ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS SERVICIOS REGIONALES DE ALTAS PRESTACIONES EN CATALUÑA**

DE BARCELONA A	TIEMPO ACTUAL	TIEMPO FUTURO	INCREMENTO DE TRÁFICO PREVISTO
GIRONA	1h 05'	27'	+ 60%
LLEIDA	1h 45'	1h 06'	+ 66%
TARRAGONA	1h	36'	+ 47%

En efecto, el cuadro 8, sintetiza: la oferta actual de tiempos de viaje para algunas relaciones, los nuevos tiempos de recorrido (circulaciones a 200 km/h) y los incrementos esperados de tráfico. Es de interés recordar que en el pasado año los flujos de viajeros por ferrocarril entre Barcelona y Tarragona por un lado, y Barcelona-Girona, por otro, superaron los 500.000 viajeros/año.

8ª) Las posibilidades ofrecidas por las ramas de alta velocidad de la tercera generación

LLegados a este punto parece claro el interés de encontrar una solución, que hiciese lo más compatible posible la dualidad largo recorrido-servicios regionales. El desarrollo del material de alta veloci-

dad de nueva generación podría ser un elemento clave en el logro de dicho objetivo.

En efecto, la fig. 17, proporcionaría las prestaciones comerciales con las que es posible contar a nivel de planificación en el ámbito europeo. La experiencia real francesa y la previsión constituyen el punto de apoyo de la reflexión que se efectúa a continuación.

Nótese como pueden distinguirse dos períodos claramente diferenciados, aunque las actuaciones en ellas insertadas puedan inscribirse dentro de la tendencia continuada de elevación de la velocidad comercial disponible para el explotador.

El primer período corresponde al tiempo transcurrido desde la puesta en servicio de la nueva línea Paris-Lyon hasta el momento actual, caracterizado por unas prestaciones comerciales situadas en el intervalo de los 200 a los 240 km/h.

El segundo período se iniciaría con el comienzo del nuevo siglo, donde velocidades punta de 350/360 km/h harán posible que las comerciales lleguen al intervalo de los 240 a 270 km/h incluso en distancias que superen los 550 km, tal como puede apreciarse en la citada fig. 17.

La aplicación de los niveles precedentes de calidad a la relación Madrid-Barcelona permite configurar, como referencia orientativa, el cuadro 9, cuyo análisis conduce a señalar:

a) La explotación de la nueva línea con los estándares medios de velocidades comerciales vigentes en la actualidad ((~ 225 km/h) conduciría a un tiempo de viaje, en el caso de la alternativa de trazado más hacia el interior entre Lleida y Barcelona, de 2h 40'. La adopción de la alternativa de paso por Perafort incrementaría el citado tiempo en 4'.

b) Si se considera el escenario posible de velocidades comerciales previsto con el comienzo del siglo XXI ((~ 250 km/h) el tiempo de viaje entre Madrid y Barcelona quedaría por debajo de las 2h 30', (incluso en el caso del paso por Perafort) con una reducción de tiempo en el entorno de los 15' respecto a la situación anterior.

Un escenario de máximos en el ámbito de las velocidades comerciales (~ 275 km/h) reduciría el tiempo de viaje a las 2h 15' en la alternativa de mayor recorrido.

Es indudable que la tecnología disponible no es más que una herramienta que debe utilizarse en función de las características que presenta cada necesidad, asumiendo por nuestra parte la afortu-

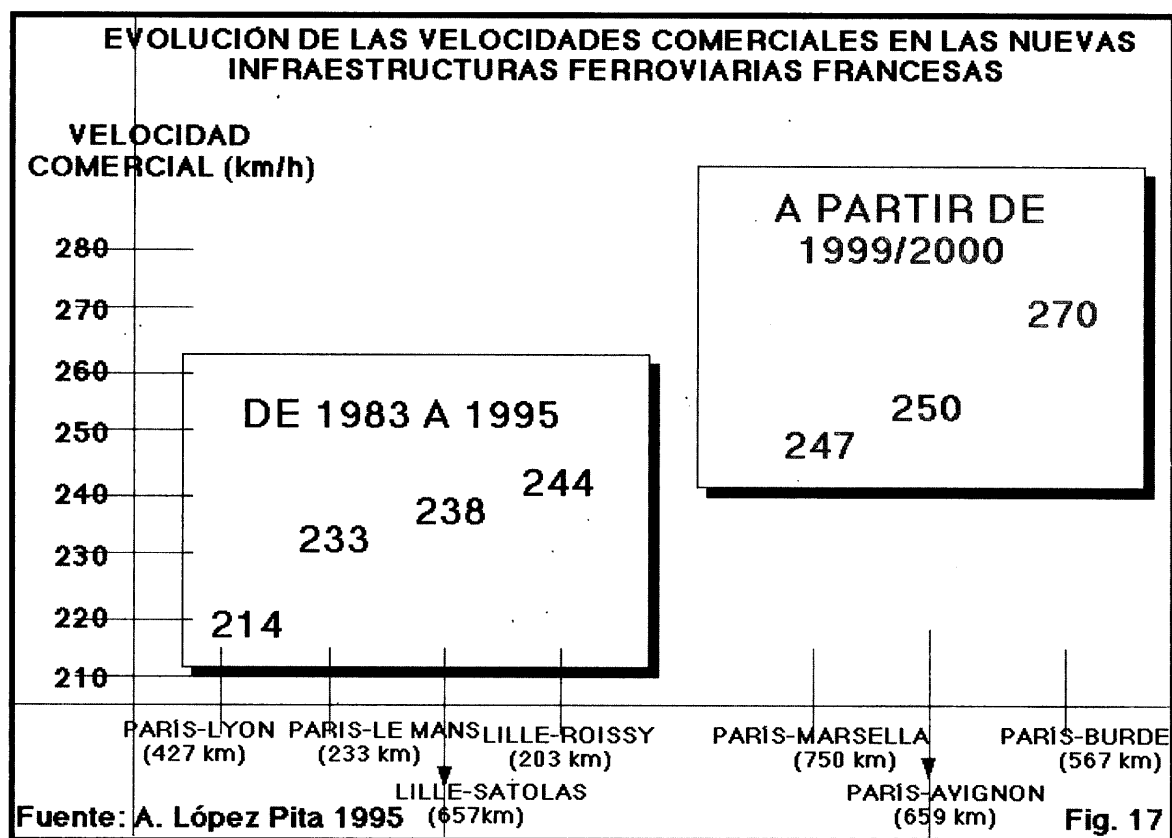


Figura 17.

nada frase atribuida a los ferrocarriles suizos de: "No ir tan deprisa como sea posible, sino tan rápido como sea necesario".

En todo caso estimamos que la citada tecnología es una variable más a tener en cuenta cuando se trata, como sucede en el problema objeto del presente escrito, de optimizar los recursos económicos disponibles, los asociados a un proyecto y los beneficios que de su aplicación se derivan.

5. CONCLUSIONES

La exposición efectuada ha tenido por objeto efectuar un conjunto de reflexiones sobre las opciones que presenta la búsqueda de la alternativa óptima de trazado entre Madrid y Barcelona.

Del análisis efectuado parece deducirse la posibilidad de compaginar las soluciones que privilegian las relaciones de largo recorrido con las que facilitarían la implementación de una red regional en Cataluña de altas prestaciones.

Los estudios en curso permitirán, sin duda, efectuar un balance socio-económico que oriente hacia la decisión más conveniente en la perspectiva de optimizar globalmente los recursos necesarios y los beneficios de ellos derivados.

6. REFERENCIAS

—LÓPEZ PITA, A. Criterios de planificación de las nuevas infraestructuras ferroviarias. Revista Situación, Banco de Bilbao n.º 3/4, 1993 37 - 64.

—LÓPEZ PITA, A, et. al. Evolución de los criterios de proyecto de nuevas infraestructuras de ferrocarril. II Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Bilbao, Octubre 1995, 2 - 10. ●

CUADRO 9. ÓRDENES DE MAGNITUD DE DISTINTAS ALTERNATIVAS DE TRAZADO EN LA RELACIÓN MADRID-BARCELONA

ALTERNATIVA	DISTANCIA APROX. (km)	VELOCIDAD COMERCIAL (km/h)			
		190	225	250	275
DIRECTISIMA (RUTA AEREA)	500	2h37	2h13	2h00	1h49
DIRECTA MADRID-ZARAGOZA LLEIDA-BARCELONA	564	2h58	2h30	2h15	2h03
AUTOPISTA ENTRE LLEIDA Y BARCELONA	602	3h10	2h40	2h34	2h11
PASO POR PERAFORT	618	3h14	2h44	2h28	2h15