



POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"



Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Master en Gestion
de Infraestructuras,
Equipamientos
y Servicios

CSG



TA VELOCIDAD

“Análisis Comparativo de la viabilidad entre los medios de transporte Hyperloop y AVE en el corredor Madrid-Barcelona”

Tutores:

D. Antonio M. López Corral
D. Fernando Gutiérrez de Vera
D. Ángel Corcóstegui Guraya

Alumnos:

José Carlos de la Fuente Pascual
Pablo Egea Castejón
Emilio García Miguel

Madrid, julio 2016





Análisis Comparativo de la viabilidad entre los medios de transporte Hyperloop y AVE en el corredor Madrid-Barcelona



Índice

0	Abstract y Resumen Ejecutivo	7
0.1	Abstract	7
0.2	Resumen ejecutivo.....	9
1	Objeto y Alcance	15
2	Descripción global de las alternativas de transporte a analizar	16
2.1	Alta Velocidad Española.....	16
2.2	Hyperloop.....	18
3	Marco Metodológico	21
4	Análisis Técnico	23
4.1	Estudio físico. Descripción del corredor	23
4.2	Parámetros de diseño	31
4.3	Características técnicas del AVE	35
4.4	Características técnicas del Hyperloop.....	49
5	Análisis de la Demanda de Tráfico	56
5.1	Demanda de tráfico registrada en el corredor entre 2008 y 2014	56
5.2	Demanda de tráfico estimada para el corredor a partir de 2014	62
5.3	Demanda de tráfico para el AVE.....	65
5.4	Demanda de tráfico para el Hyperloop.....	67
6	Análisis de Costes de Implantación.....	76
6.1	Costes de implantación para el AVE	76
6.2	Costes de implantación para el Hyperloop.....	86
6.3	Tabla Resumen de Costes de implantación	91
7	Análisis de Costes de Explotación	92
7.1	Costes de explotación para el AVE.....	92
7.2	Costes de explotación para el Hyperloop	96
7.3	Tabla Resumen de Costes de explotación	99
8	Análisis de Ingresos.....	102
8.1	Ingresos generados por el AVE	102
8.2	Ingresos generados por el Hyperloop.....	107
9	Análisis Coste Beneficio	110
9.1	Fundamentos teóricos	110
9.2	Definición de escenarios.....	115
9.3	Marco de análisis	116

9.4	Excedente del productor.....	125
9.5	Excedente de los usuarios.....	128
9.6	Efectos externos.....	130
9.7	Conclusiones al ACB.....	132
10	Análisis y Selección de los Modelos de Contratación.....	134
10.1	Análisis del marco normativo español.....	134
10.2	Modelo contractual del AVE.....	135
10.3	Modelo contractual del Hyperloop.....	141
10.4	Otras estructuras de contratación de interés.....	148
11	Análisis de Riesgos.....	153
11.1	Introducción.....	153
11.2	Identificación de los <i>stakeholders</i>	154
11.3	Caracterización de los riesgos.....	155
11.4	Matriz de riesgos y transferencia de riesgos. Estrategias de mitigación para el AVE e Hyperloop.....	157
12	Estudio de Viabilidad Económica.....	163
12.1	Información de partida.....	166
12.2	Análisis de la viabilidad económica del AVE.....	169
12.3	Análisis de la viabilidad económica del Hyperloop.....	171
12.4	Análisis de sensibilidad.....	173
12.5	Conclusiones al Análisis de Viabilidad Económica.....	183
13	Conclusiones.....	185
14	Bibliografía.....	187
15	Anexo. Modelo para el Estudio de Viabilidad Económica en el Caso Base.....	189
15.1	Tabla de inputs Hyperloop.....	189
15.2	Tabla de inputs AVE.....	192
15.3	Tabla de Ingresos-Gastos Hyperloop.....	195
15.4	Tabla de Ingresos-Gastos AVE.....	197

Índice de Tablas

Tabla 1. Demanda del AVE e Hyperloop para el corredor Madrid - Barcelona	10
Tabla 2. Resumen costes implantación. AVE e Hyperloop	11
Tabla 3. Resumen costes explotación. AVE e Hyperloop. € año 2003.....	11
Tabla 4. Ingresos por venta de billetes del AVE e Hyperloop para el corredor Madrid – Barcelona. €12	
Tabla 5. Parámetros de diseño para la línea de AVE (I)	32
Tabla 6. Parámetros de diseño para la línea de AVE (II)	33
Tabla 7. Parámetros de diseño para la línea de AVE (III)	33
Tabla 8. Parámetros de diseño para la línea de Hyperloop (I).....	34
Tabla 9. Características técnicas vaina Hyperloop.....	54
Tabla 10. Proyecciones de demanda en el corredor Madrid-Barcelona por modos. Año 2005.....	57
Tabla 11. Demanda del AVE en la relación Madrid-Barcelona en el año 2005 según distintas hipótesis	57
Tabla 12. Reparto modal en el corredor Madrid-Barcelona.....	58
Tabla 13. Procedencia modal de los usuarios de AVE	58
Tabla 14. Demanda real 2008-2014 AVE y avión para el corredor Madrid – Barcelona	58
Tabla 15. Demanda real entre las principales ciudades del corredor Madrid – Barcelona.....	61
Tabla 16. Prognosis de demanda de AVE 2015-2032	62
Tabla 17. Prognosis de demanda de avión, coche, autobús y moto 2014-2032	63
Tabla 18. Demanda del AVE para el corredor Madrid - Barcelona	65
Tabla 19. Tráfico captado por el Hyperloop procedente del avión	68
Tabla 20. Tráfico captado por el Hyperloop procedente del coche, autobús y moto	69
Tabla 21. Prognosis de demanda del Hyperloop en el Corredor Madrid-Barcelona 2008-2032.....	69
Tabla 22. Frecuencias de AVE durante los horarios de mayor demanda	72
Tabla 23. Vuelos ofertados durante los horarios de mayor demanda	73
Tabla 24. Estimación de la demanda del Hyperloop en la hora punta entre Madrid y Barcelona.....	73
Tabla 25. Clases de Contratos para construcción AVE.....	76
Tabla 26. Contratos e incidencias en construcción AVE	77
Tabla 27. Talleres necesarios año de puesta en servicio	84
Tabla 28. Talleres necesarios año 2015	85
Tabla 29. Talleres necesarios año 2025	85
Tabla 30. Bases de Mantenimiento necesarios año puesta en servicio	85
Tabla 31. Bases de Mantenimiento necesarios año 2025	86
Tabla 32. Bases de Mantenimiento necesarios año 2025	86
Tabla 33. Costes construcción infraestructura	88
Tabla 34. Resumen costes implantación AVE en € año 2003	91
Tabla 35. Resumen costes implantación Hyperloop en € año 2003.....	91
Tabla 36. Costes explotación € ctes año 2010	94
Tabla 37. Resumen costes Explotación AVE en € año 2003.....	99
Tabla 38. Resumen costes Explotación Hyperloop en € año 2003	100
Tabla 39. Percepción media por v.km (céntimos de euro por v.km) y precio por v.km larga distancia convencional y alta velocidad comercial (c€/v.km).....	103
Tabla 40. Estimación de ingresos sobre los flujos de pasajeros desde 2008 hasta 2014.....	104
Tabla 41. Previsión de ingresos del AVE en el corredor Madrid-Barcelona entre los años 2015 y 2020	106

Tabla 42. Previsión de ingresos del AVE en el corredor Madrid-Barcelona entre los años 2021 y 2026	106
Tabla 43. Previsión de ingresos del AVE en el corredor Madrid-Barcelona entre los años 2027 y 2032	107
Tabla 44. Estimación del precio de los billetes para Hyperloop	108
Tabla 45. Estimación de ingresos para el Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona. 2008-2016.	108
Tabla 46. Estimación de ingresos para el Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona. 2017-2025.	109
Tabla 47. Estimación de ingresos para el Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona. 2026-2032.	109
Tabla 48. Componentes gráficos del ACB	113
Tabla 49. Valor del Tiempo de Viaje según medio de transporte. 2003.....	117
Tabla 50. Ocupación media según tipo de vehículo	118
Tabla 51. Trayectos y velocidades medias estimados (Km).....	118
Tabla 52. Parámetros costes operativos.....	119
Tabla 53. Precios sombra a aplicar a las variables	120
Tabla 54. Costes medioambientales	123
Tabla 55. Índices de accidentalidad	124
Tabla 56. Inversión en fase de construcción (EUR)	125
Tabla 57. Vida útil de los activos.....	125
Tabla 58. Inversión en fase de explotación (EUR).....	126
Tabla 59. Valor residual (EUR).....	126
Tabla 60. Costes de explotación (EUR)	127
Tabla 61. Datos Modelo ACB. Costes explotación e inversiones	128
Tabla 62. Datos Modelo ACB. Beneficios asociados a los ahorros de tiempo	129
Tabla 63. Datos Modelo ACB. Beneficios/ Costes operativos asociados a usuarios.....	130
Tabla 64. Datos Modelo ACB. Externalidades.....	131
Tabla 65. Datos Modelo ACB. Ahorro por accidentalidad	132
Tabla 66. Categorías de probabilidad de riesgos	156
Tabla 67. Categorías de impacto de riesgos	156
Tabla 68. Categorías de severidad de riesgos.....	157
Tabla 69. Matriz de Riesgos	158
Tabla 70. Indicadores de rentabilidad del proyecto del AVE.....	171
Tabla 71 – Indicadores de rentabilidad del proyecto del Hyperloop.....	172
Tabla 72 – Consumo de recursos del AVE y del Hyperloop en el caso base	173
Tabla 73 – Indicadores de rentabilidad del proyecto del AVE para el caso base y estresado	179
Tabla 74 – Indicadores de rentabilidad del proyecto del Hyperloop para el caso base y estresado .	179
Tabla 75 – Consumo de recursos del AVE y del Hyperloop en el caso base	180
Tabla 76. Modelo Económico. Inputs. Hyperloop.....	189
Tabla 77. Modelo Económico. Inputs. AVE	192
Tabla 78. Modelo Económico. Ingresos-Gastos. Hyperloop	195
Tabla 79. Modelo Económico. Ingresos-Gastos. AVE	197

Índice de Figuras

Figura 1. Documento Hyperloop Alpha con montaje fotografía de Elon Musk.....	19
Figura 2. Trazado tramo Madrid - Zaragoza. AVE e Hyperloop (I)	24
Figura 3. Trazado tramo Madrid - Zaragoza. AVE e Hyperloop (II)	24
Figura 4. Trazado tramo Madrid - Calatayud. AVE e Hyperloop (III).....	25
Figura 5. Trazado tramo Calatayud - Zaragoza. AVE e Hyperloop	26
Figura 6. Trazado tramo Zaragoza - Lleida. AVE e Hyperloop (I)	29
Figura 7. Trazado tramo Zaragoza - Lleida. AVE e Hyperloop (II)	30
Figura 8. Trazado tramo Lleida - Barcelona. AVE e Hyperloop (I).....	30
Figura 9. Trazado tramo Lleida - Barcelona. AVE e Hyperloop (II).....	31
Figura 10: Pantallas Centro Control de RENFE.....	43
Figura 11: Base Nertus S-103	45
Figura 12: Base RENFE.....	45
Figura 13: AVE S-103 RENFE.....	46
Figura 14: Coche Clase Club AVE S-103 RENFE	46
Figura 15: AVE S-103 RENFE.....	47
Figura 16: AVE S-103 RENFE.....	47
Figura 17: Constitución tubo.....	49
Figura 18: Cápsula diseñada por UPV	50
Figura 19: Cápsula diseñada por UPV	50
Figura 20: Cápsula diseñada por UPV	51
Figura 21: Sistema de suspensión sobre rodamientos	51
Figura 22: Sistema de suspensión sobre rodamientos	51
Figura 23: Cápsula documento "Hyperloop Alpha"	52
Figura 24: Cápsula diseñada por MIT.....	52
Figura 25: Diseño futurista Hyperloop en ciudad	53
Figura 26: Detalle unión estructura y tubo	54
Figura 27. Comparación estudios de demanda previos con demanda real en el primer año de operación	59
Figura 28. Evolución prevista de la demanda de AVE frente a la real	60
Figura 29. Reparto modal en el corredor Madrid-Barcelona entre los años 2003 y 2013	61
Figura 30. Tráfico AVE. Madrid – Zaragoza. 2008 - 2032	66
Figura 31. Tráfico AVE. Madrid - Zaragoza. 2008 - 2032.....	66
Figura 32. Tráfico AVE: Zaragoza - Barcelona. 2008 - 2032	67
Figura 33. Tráfico Hyperloop. Madrid-Barcelona. Captación por modos de transporte. 2008-2032... 70	70
Figura 34. Tráfico Hyperloop. Madrid-Zaragoza. Captación por modos de transporte. 2008-2032 71	71
Figura 35. Tráfico Hyperloop. Zaragoza-Barcelona. Captación por modos de transporte. 2008-2032 71	71
Figura 36 – Demanda en Hora punta frente a la capacidad de transporte de un bitubo.....	75
Figura 37. Costes de inversión en construcción. AVE	79
Figura 38: Desglose costes construcción. Costes principales de plataforma y vía. AVE.....	80
Figura 39: Coste medio por kilómetro en infraestructuras AV	82
Figura 40. Costes totales Hyperloop	87
Figura 41: Desglose costes construcción Tubo (M € año 2013).....	89
Figura 42: Desglose porcentajes costes construcción Tubo	89
Figura 43: Coste vaina de pasajeros.....	90
Figura 44: Desglose costes Mantenimiento infraestructura AVE (€ año 2003).....	93

Figura 45: Desglose costes Mantenimiento infraestructura Hyperloop (€ año 2003)	98
Figura 46. Evolución de los ingresos medios por viajero-km en € de 2014	104
Figura 47. Evolución de demanda en el corredor Madrid-Barcelona (eje izqd) frente a evolución de ingresos medios (eje dch)	105
Figura 48. Comparación del análisis de rentabilidad financiera y de rentabilidad económico-social	111
Figura 49. Representación gráfica de impactos en el ACB.....	112
Figura 50. Representación gráfica de impactos en el ACB - Ahorros de tiempo	113
Figura 51. Representación gráfica de impactos en el ACB - Ahorros de costes de operación	114
Figura 52. Representación gráfica de impactos en el ACB - Cambio en Disposición a Pagar	114
Figura 53. Ahorros de costes por tiempo. Año 2015	129
Figura 54. Ahorro costes medioambientales. Año 2015.....	131
Figura 55. Ahorro por costes de accidentalidad. Año 2015.....	132
Figura 56. Estructura contractual del AVE	141
Figura 57. Concesión de Gestión de Servicio Público para la Explotación del Hyperloop.....	144
Figura 58. “Tiendas de la estación” y “Vialia”	148
Figura 59. Esquema de funcionamiento de “Vialia”	150
Figura 60. Comportamiento económico del proyecto del AVE en el corredor MAD-BCN	170
Figura 61. Comportamiento económico del proyecto del Hyperloop en el corredor MAD-BCN	172
Figura 62 - Sensibilidad del VAN al incremento en la inversión del HYPERLOOP	174
Figura 63 – Sensibilidad del VAN al precio del billete en la relación MAD-BCN del HYPERLOOP.....	175
Figura 64 - Sensibilidad del VAN a la demanda inducida por el HYPERLOOP	175
Figura 65 - Sensibilidad del VAN a variaciones en el precio de la energía.....	176
Figura 66 – Sensibilidad del VAN al horizonte temporal del análisis.....	177
Figura 67 – Comportamiento económico del proyecto del AVE en el corredor MAD-BCN para el caso estresado.....	178
Figura 68 - Comportamiento económico del proyecto del Hyperloop en el corredor MAD-BCN para el caso estresado	179
Figura 69 - Sensibilidad del VAN al incremento en la inversión del HYPERLOOP	180
Figura 70 – Sensibilidad del VAN al precio del billete en la relación MAD-BCN del HYPERLOOP.....	181
Figura 71 - Sensibilidad del VAN a la demanda inducida por el HYPERLOOP	182
Figura 72 - Sensibilidad del VAN a variaciones en el precio de la energía.....	182
Figura 73 – Sensibilidad del VAN al horizonte temporal del análisis.....	183

0 Abstract y Resumen Ejecutivo

0.1 Abstract

In this study a comparative analysis between two means of transport is made: High Speed Rail (AVE for its acronym in Spanish) and Hyperloop, based on its potential implementation in a Spanish corridor, namely the one that links the towns of Madrid, Zaragoza and Barcelona.

The time frame of the study begins in 2003, the year when the construction phase would start for both the AVE and the Hyperloop, and it lasts until 2008, when the phase of commercial exploitation begins for both modes of transport. The choice of this time frame provides real information on the evolution of AVE, both related to the investment costs and operating costs, revenue and traffic. This facilitates the data acquisition necessary to calculate the different parameters of Hyperloop costs and incomes, and reduces uncertainty regarding this new mean of transport. In order to carry out a comparative analysis between the two means of transport, the premise that the Hyperloop is technically feasible in the starting year of the analysis is stated, although their innovative development involves a certain risks that will be considered.

From the analysis of the Hyperloop and all existing documentation related, it can be concluded that, at the time of writing this study, this innovative mean of transport still has many uncertainties about its technical feasibility, exploitation mode, commercial operating capacity, operating costs incurred, etc. In this respect, this study states that it is necessary to deepen the investigation on how to best manage this development. As an example, the preliminary design included in the *Hyperloop Alpha* document does not consider the costs associated with the operation and the replacement of assets associated with the Hyperloop. Due to the specific technical characteristics of Hyperloop and, based on the traffic study conducted, one of the main conclusions obtained is that, in order to provide a service capable of meeting the transportation needs of the corridor Madrid-Barcelona in its peak hour, it would be necessary to construct 4 tubes, 2 in each direction.

As the Hyperloop is considered a clean mean of transport, the advantages generated regarding any other means of transportation are high. In this sense, the cost-benefit analysis shows very favorable results for Hyperloop when in comparison to AVE. The time savings and cost savings associated with environmental externalities (air pollution, climate change, noise, visual impact) and accidents, get to reach figures close to € 200 million just in its first year of exploitation. In addition, it should be taken into account that the savings for Hyperloop users are a result of lower use of their own vehicles (car and motorcycle) as well as by the reduced ticket price (much lower in relation to other means transport), summing up to a total amount of € 600 million in 2008 generated by these savings.

In relation to the contractual model, the innovations and barriers to implement the Hyperloop, make it difficult to use a model similar to the one used for the AVE. There should be implemented a model based in a vertical separation as in the AVE, but, in this case, the operator of the service would be a private company that would work on a concession contract basis awarded through a process of Public Private Partnership with Dialogue Competitive, stated in the Spanish Law for Public Procurement. The other major player in the system, the manager of the infrastructure would remain in the public sector, in a similar manner as in the AVE, and could even be the same company as for the AVE (ADIF Alta Velocidad).

From the point of view of economic viability, it is concluded that neither the AVE nor the Hyperloop are self-financing under the conditions set out in the Base Case of the Study. However, in the case of

Hyperloop there is a greater scope to achieve economic sustainability of the project, for which it would be necessary to increase the ticket price proposed in the *Hyperloop Alpha* document to higher rates, similar to those offered currently by the AVE. The better economic viability of the Hyperloop is due to lower investments associated with its construction, lower unit operating costs and its ability to capture a demand significantly higher than the AVE.

0.2 Resumen ejecutivo

El actual Documento se corresponde con un Proyecto desarrollado en el marco de la décimo cuarta edición del **Máster en “Gestión de Infraestructuras, Equipamientos y Servicios”**, título propio de postgrado de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) en colaboración con el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y la Fundación Agustín de Betancourt, durante el curso académico 2015-2016.

El objetivo fundamental del Estudio es realizar un exhaustivo **análisis comparativo entre dos medios de transporte, el AVE y el Hyperloop, en su aplicación a un corredor español**, concretamente al que une las poblaciones de Madrid, Zaragoza y Barcelona.

En el momento de desarrollo del presente Proyecto, el Hyperloop es aún un medio de transporte en desarrollo, no probado y cuya viabilidad técnica y comercial es cuestionada por parte del sector. No obstante, para poder llevar a cabo el análisis comparativo entre ambos medios de transporte, se parte de la premisa de que el Hyperloop es viable técnicamente, si bien, su desarrollo innovador conlleva una serie de riesgos que deben considerarse.

El marco temporal en el que se encuadra el presente Proyecto comienza en el año 2003, punto de partida de la fase constructiva, tanto para el AVE como para el Hyperloop, y que se prolonga hasta el año 2008, cuando comienza la fase de explotación comercial de ambos medios de transporte. La elección de dicho periodo permite contar con información real de la evolución del AVE, tanto en lo relacionado con los costes de inversión, como en los costes de explotación, ingresos y en el tráfico. Esto facilita realizar las estimaciones necesarias para el cálculo de los diferentes parámetros del Hyperloop, lo que permite reducir la incertidumbre en relación a este nuevo medio de transporte.

El Estudio se inicia con una **descripción global de ambos sistemas de transporte**. De este modo, se explica el concepto de la “alta velocidad” en el sistema ferroviario, dentro del marco normativo español, y se exponen los antecedentes históricos del AVE en la línea Madrid – Barcelona. En relación al Hyperloop, se expone, igualmente, el origen de dicho concepto innovador presentado por Elon Musk y su proceso de lanzamiento al mundo, así como la irrupción de dos empresas con concepciones distintas que actualmente han recogido el testigo para su desarrollo.

Ambos medios de transporte presentan ciertas características en común, si bien, también son muy destacables las diferencias. En este sentido, mientras que el AVE se desplaza a velocidades próximas a los 300 km/h, el Hyperloop es capaz de superar los 1.000 Km/h.

La **definición del corredor físico** para ambos medios de transporte también es diferente, ya que las altas velocidad del Hyperloop obliga a diseñar tramos con radios de giro mayores que los que se aplican en el AVE. En el diseño técnico de la línea para el Hyperloop, se intenta acoplar al máximo los parámetros geométricos del mismo junto con las distintas alternativas que se barajaron en el trazado del AVE. Por su parte, el diseño del corredor físico del AVE se corresponde con el trazado real pero considerando tan solo tres paradas: Madrid, Zaragoza y Barcelona.

En definitiva, el análisis realizado en el presente Estudio en relación a la definición del corredor físico arroja una longitud total del corredor para el AVE de 621 km, mientras que para el Hyperloop, la longitud necesaria es de 550 Km.

Del análisis de las **características técnicas** y de los **parámetros de diseño** se desprende la gran diferencia existente actualmente entre el grado de desarrollo de la tecnología de ambos sistemas de transporte. El AVE, actualmente en explotación, completamente desarrollado y con el bagaje de la cuantificación real de un corredor en la vanguardia mundial, en contraste con la tecnología del Hyperloop en su fase embrionaria. En este sentido, muchos aspectos técnicos importantes del Hyperloop aún no están definidos, como puede ser la comunicación entre vainas y la forma de impulsión: por suspensión sobre rodamientos de aire (principio que sigue el documento *Hyperloop Alpha*) o por levitación magnética (sistema elegido por la UPV en su diseño ganador del “*Hyperloop Pod Competition*”).

El presente Proyecto también incorpora un **estudio de tráfico**, tanto para el AVE como para el Hyperloop. En relación al AVE, según se ha mencionado anteriormente, se parte del registro real de los datos de tráfico entre el periodo 2008 y 2014. A partir de dicha fecha es necesario realizar una prognosis de tráfico, que se apoya principalmente en una función de demanda basada en la correlación existente entre el tráfico registrado por el AVE y la evolución del PIB español.

El modelo de tráfico desarrollado para el Hyperloop se alimenta de datos de tráfico del resto de medios de transporte involucrados en el corredor: AVE, avión, coche, autobús y moto. Es por ello necesario analizar los registros históricos de tráfico de dichos medios, así como realizar las prognosis a futuro e identificar sus correlaciones con el Hyperloop. Asimismo, se considera que este nuevo medio de transporte es capaz de generar una demanda inducida en el corredor en cuestión. De este modo, a partir del estudio de tráfico desarrollado se obtienen los siguientes datos de tráfico para ambos medios de transporte.

Tabla 1. Demanda del AVE e Hyperloop para el corredor Madrid - Barcelona

Medio	Trayecto	2008	2009	2010	2015	2020	2025	2030
AVE	Madrid - Barcelona	2.109.943	2.670.407	2.597.435	3.555.809	3.901.311	4.251.204	4.632.478
	Madrid - Zaragoza	1.704.483	1.363.509	1.258.121	1.319.427	1.447.629	1.577.462	1.718.938
	Zaragoza - Barcelona	563.925	589.855	612.569	747.039	819.625	893.134	973.236
Hyperloop	Madrid - Barcelona	6.155.622	6.358.294	6.280.183	6.785.908	7.445.263	8.113.000	8.840.624
	Madrid - Zaragoza	2.341.591	1.871.772	1.727.834	1.807.117	1.982.707	2.160.528	2.354.297
	Zaragoza - Barcelona	772.365	807.879	838.989	1.023.161	1.122.577	1.223.257	1.332.966

Fuente: Elaboración propia

El estudio de tráfico modeliza también la evolución de la demanda en el corredor en la hora punta, en base a datos reales sobre el número de viajeros actuales entre Madrid y Barcelona entre las 8 y las 11 horas de un día laborable. A partir de los datos reales de demanda en hora punta, y de las estimaciones de demanda en el Hyperloop, se calcula la demanda que debería enfrentar el Hyperloop en hora punta, y se concluye que, con las condiciones de explotación definidas en el documento *Hyperloop Alpha*, **sería necesario construir 2 bitubos (4 tubos, 2 por sentido) para dar un servicio que cubra las necesidades de transporte en el corredor**. En el apartado de costes de implantación se estima el incremento en los costes de la inversión asociada a la construcción de estos 2 bitubos.

Dentro del presente Estudio comparativo se analizan los **costes tanto de implantación, como de reposición, mantenimiento y explotación** de ambos medios de transporte. En relación al AVE, las

cifras se obtienen a partir de documentación pública de carácter oficial. Por su parte, los costes del Hyperloop se obtienen a partir de los del documento *Hyperloop Alpha*, adaptándolo en su caso en base a los costes del AVE y teniendo en cuenta las propias características de este medio de transporte, así como de las del corredor físico.

Tabla 2. Resumen costes implantación. AVE e Hyperloop

Medio	Costes Implantación	M € ₂₀₀₃
AVE	Construcción	8.120,25
	Material rodante	785,47
	Talleres y bases mantenimiento	93,16
Hyperloop	Construcción	5.745,02
	Vaina	170,29
	Material auxiliar	128,86
	Talleres y bases mantenimiento	115,80

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar en relación a los costes de implantación del Hyperloop, que se han realizado modificaciones sustanciales de los datos expuestos en el documento *Alpha*, con el objeto de adaptar el proyecto a las características físicas del corredor español, así como a la legislación nacional. Debe también destacarse, la falta absoluta de estimación de costes en el documento “Alpha” sobre las inversiones asociadas a la auscultación de la infraestructura y vainas, así como todos aquellos relacionados con los costes de mantenimiento y explotación. Es por ello, que en el presente Estudio, dichos costes se estiman principalmente a partir de los costes incurridos por el AVE.

Tabla 3. Resumen costes explotación. AVE e Hyperloop. € año 2003

Medio	Activo	Ratio
AVE	Mantenimiento infraestructura	79.732,85 € / Km año
	Material móvil	-
	Mantenimiento	4 €/tren-km año (trenes) 0,55 €/tren-km año (mat. auxiliar)
	Energía	1,11 €/tren – km
	Personal	0,60 €/tren – km
	Estaciones	7.150.000 €/ año
	Otros	-
	ventas, comisiones, seguros, catering, etc.	8% ingresos netos
	Seguros de material rodante	16.284,54 € / tren
	Estructura	10 M €/año
	Servicios en los talleres	2.804.664,66 € / año

Medio	Activo	Ratio
	Servicios y suministros en oficinas y estaciones	2.873.977,39 € / año
Hyperloop	Mantenimiento infraestructura	70.109 € / Km año
	Material móvil	-
	Mantenimiento	0,14 €/vaina-km año 0,019 €/tren-km año (mat. auxiliar)
	Estaciones	8.525.000 €/ año
	Otros	-
	ventas, comisiones, seguros, etc	7,5% ingresos netos
	Seguros de material rodante	1.129 € / vaina
	Estructura	10,75 M €/año
	Servicios en los talleres	2.804.664,66 € / año
	Servicios y suministros en oficinas y estaciones	2.873.977,39 € / año

Fuente: Elaboración propia

En relación a la generación de **ingresos**, tanto el AVE como el Hyperloop cuentan con unas fuentes de ingresos similares, donde destaca la venta de billetes a los pasajeros, pero también se encuentran las líneas de negocio comercial, como son la publicidad, explotación de tiendas, aparcamientos y la fibra óptica.

Con objeto de llevar a cabo el análisis comparativo, se hace necesario desarrollar un modelo de ingresos para cada uno de los dos medios de transporte, donde se tiene en cuenta el tráfico y las particularidades de cada uno de ellos. A partir de dichos modelos, se obtienen los siguientes datos de generación de ingresos por venta de billetes.

Tabla 4. Ingresos por venta de billetes del AVE e Hyperloop para el corredor Madrid – Barcelona. €

Medio	2008	2009	2010	2015	2020	2025	2030
AVE	220.364.317	246.798.872	249.842.052	329.242.078	361.233.007	393.630.607	428.933.824
Hyperloop	112.865.430	112.693.683	110.736.850	120.084.025	131.752.035	143.568.369	156.444.464

Fuente: Elaboración propia

El presente Estudio incorpora un **Análisis Coste Beneficio** a partir de cual se realiza el análisis comparativo desde el punto de vista económico-social. Dicho análisis no solo tiene en cuentas los aspectos económicos, sino que también incluye la evaluación de las externalidades entre las que se encuentran los factores medioambientales (contaminación atmosférica, cambio climático, ruido e impacto visual) y los relacionados con la accidentalidad.

El Hyperloop, al considerarse un medio de transporte limpio, verde, proporciona unos ahorros en costes medioambientales muy relevantes. Tan solo en el primer año de explotación (2008), el Hyperloop permite generar unos ingresos superiores a 92 millones €, cantidad que asciende hasta los 106 M€ en el año 2025.

En relación a los costes de accidentalidad, al captar el Hyperloop un porcentaje considerable del tráfico generado por el coche, cuyos ratios de accidentalidad son altos, se consigue reducir sus costes asociados en 35 M€ tan solo para el año 2008.

Debido a las altas velocidades a las que es capaz de desplazarse el Hyperloop, su explotación genera unos ahorros de tiempo, respecto a cualquier otro medio de transporte –incluido el avión–, muy significativos. En este sentido, para el año 2008, los ahorros de coste relacionados con los ahorros de tiempo ascienden hasta el valor de 68 M€. Para el año 2025, dichos ahorros de coste alcanza la cifra de 125 M€.

También se generan ahorros de coste para aquellos usuarios que actualmente utilizan sus vehículos propios (coche y moto) y que como consecuencia de la implantación del Hyperloop, deciden recurrir a este nuevo medio de transporte. En ello también influyen los bajos precios que se consideran para el Hyperloop, según el trayecto considerado.

En definitiva, el Análisis Coste Beneficio desarrollado en el presente Estudio, arroja unas ventajas considerables para el Hyperloop respecto al AVE.

El presente Estudio continúa con la **valoración de los modelos contractuales** con los que se desarrollan ambos medios de transporte dentro de la normativa española. El caso del AVE es conocido, se basa en la relación entre la entidad pública empresarial ADIF-Alta velocidad, responsable de la infraestructura, y el operador RENFE-Operadora. En cualquier caso, el Estudio expone en detalle la evolución del sistema contractual desde sus inicios hasta la actualidad, donde se pasa de un modelo horizontal a uno vertical, así como las características de las diferentes compañías relacionadas.

Para el caso del Hyperloop, las propias características de este medio de transporte debido, principalmente, a su carácter innovador, impiden la aplicación del mismo sistema contractual que en el caso del AVE. Es por ello que se lleva a cabo un análisis de las diferentes alternativas, con objeto de identificar aquella considerada óptima para la implantación y explotación de este medio de transporte, dentro del marco normativo español.

En este sentido, se decide aplicar un modelo basado, al igual que en el caso del AVE, en la separación vertical; si bien, en el Hyperloop el **operador del servicio** no sería una empresa pública sino una empresa privada que funcionaría en base a un contrato de **Concesión de Gestión de Servicio Público adjudicado a través de un proceso de Colaboración Público Privada con Diálogo Competitivo**. El otro actor principal en el sistema, el **Gestor de la Infraestructura**, se mantendría de manera similar que en el AVE en el ámbito público a través de un **Ente Público Empresarial** que incluso podría ser la misma empresa que en el AVE (ADIF Alta Velocidad).

La explotación del servicio de transporte a través de un concesionario privado resulta la alternativa más eficiente, siempre y cuando se promueva la adquisición de la tecnología mejor adaptada a las necesidades del corredor y la adjudicación al oferente mejor preparado para proveer el servicio, para lo cual resulta de gran utilidad el procedimiento de contratación de Colaboración Público Privada con Diálogo Competitivo. El concesionario será el encargado de explotar el servicio cumpliendo unos niveles de calidad definidos en el contrato y sufragando al Gestor de la Infraestructura en concepto de canon un valor ofertado en el proceso de licitación, para lo cual previamente seleccionará la tecnología adoptada en el sistema y elaborará el proyecto constructivo de la infraestructura.

El responsable de la construcción de la infraestructura, así como de su mantenimiento, será el Ente Público Empresarial definido como Gestor de la Infraestructura; si bien la construcción la contratará a constructores especializados a través de contratos llave en mano, de modo que los contratistas

estarían obligados a revisar y eventualmente adaptar el proyecto constructivo, haciéndolo suyo y asumiendo en todo caso el riesgo de diseño.

Para la evaluación y selección del modelo contractual, es asimismo necesario la identificación y evaluación de todos los riesgos asociados al proyecto Hyperloop, en cualquiera de sus fases de planificación, implantación y explotación. De esta forma, el presente Estudio incluye un **análisis completo de los Riesgos**, tanto para el AVE como para el Hyperloop, lo que permite realizar la comparación entre ambos medios desde este punto de vista.

La metodología aplicada en la identificación y análisis de los riesgos se estructura en base a los siguientes puntos: inicialmente se identifican los *stakeholders*, tanto los directa como indirectamente afectados por los proyectos; seguidamente se realiza un trabajo de caracterización, identificación y valoración cualitativa de todos los riesgos que puedan aflorar a lo largo de las distintas fases de los proyectos (contratación, financiación, construcción y explotación); por último, se plantean las opciones de asignación de riesgos que optimicen las estrategias de mitigación de los mismos.

Finalmente se elabora un **análisis comparativo de la viabilidad económica** de las dos alternativas contempladas, cuya principal conclusión es que ninguna de las dos resulta autofinanciable en las condiciones definidas como Caso Base del presente Estudio. En el caso del Hyperloop, existe mayor margen para transformar el proyecto en sostenible económicamente si se obvia el precio de los billetes propuesto en el documento *Hyperloop Alpha* y se asumen tarifas mayores, en el rango de las ofertadas actualmente por el AVE. Se evalúa la viabilidad económica de ambos proyectos en dos casos de partida a los que se aplican distintos análisis de sensibilidad, obteniendo como resultado que, en la mayoría de los escenarios analizados, el Hyperloop contaría con una mayor capacidad de autofinanciación que el AVE, debido a las menores inversiones asociadas a su implantación, los menores costes unitarios de explotación, y a su capacidad para captar una demanda significativamente superior que el AVE.

El Estudio concluye con un epígrafe donde se recogen las principales **conclusiones del Proyecto**, así como la presentación de la **bibliografía** empleada en el desarrollo del mismo.

BLOQUE A

1 Objeto y Alcance

El presente Documento se desarrolla en el marco de la décimo cuarta edición del Máster en “*Gestión de Infraestructuras, Equipamientos y Servicios*”, título propio de postgrado de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) en colaboración con el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y la Fundación Agustín de Betancourt, durante el curso académico 2015-2016.

Se trata de un Proyecto de Fin de Máster cuyo **Objeto** es el **análisis y valoración de la comparación entre dos medios de transporte**, uno de ellos ya experimentado: el **tren de alta velocidad (AVE)**, y otro aún en vías de desarrollo: el **Hyperloop**.

El **Alcance** del análisis comparativo se centra en la **viabilidad económico-financiera-social de la implantación y explotación de ambos medios de transporte en el corredor que une las dos principales ciudades de España: Madrid y Barcelona**. El estudio evalúa igualmente las **características operacionales, los riesgos, y el modelo contractual** de cada uno de los proyectos. Se consigue, de esta forma, un análisis completo que **permite comparar ambas alternativas obteniendo conclusiones al respecto**.

Para el desarrollo del Estudio se establece como punto de partida temporal el año 1997, momento en el que se tomó la decisión de comenzar la construcción del AVE entre Madrid y Barcelona. Es en ese punto donde se sitúa el desarrollo del presente Proyecto.

En el año 1997, el Ministerio de Fomento de España desea impulsar el transporte de personas entre las ciudades de Madrid y Barcelona mediante un medio de transporte rápido y de gran capacidad, para lo que cuenta con dos alternativas: AVE e Hyperloop. De esta forma, en dicho escenario el Gobierno se plantea las siguientes preguntas:

- ¿Son ambos proyectos viables?
- ¿Cuál de los dos proyectos es más rentable desde todos los puntos de vista?

En este sentido, debe remarcar que, aunque aún hoy (2016) el Hyperloop es un medio de transporte en fase de investigación y desarrollo y, por lo tanto, todavía no construido ni probado, se asume que el mismo es viable técnicamente ya en dicha fecha (1997), siendo, por tanto, posible y necesario considerar su análisis.

2 Descripción global de las alternativas de transporte a analizar

En el presente epígrafe se realiza una descripción general de los dos medios de transporte, incluyendo sus antecedentes históricos y el desarrollo actual.

2.1 Alta Velocidad Española

2.1.1 [¿Qué se considera Alta Velocidad en España?](#)

Desde el punto de vista de la Red que forma parte del sistema ferroviario transeuropeo, se consideran:

- Líneas especialmente construidas para la alta velocidad, equipadas para velocidades por lo general iguales o superiores a 250 km/h.
- Líneas especialmente acondicionadas para la alta velocidad equipadas para velocidades del orden de 200 km/h.
- Líneas especialmente acondicionadas para la alta velocidad, de carácter específico debido a dificultades topográficas, de relieve o de entorno urbano, cuya velocidad deberá ajustarse caso por caso. Esta categoría incluye también las líneas de interconexión entre las redes de alta velocidad y convencionales, los tramos de estación, el acceso a las terminales, almacenes, etc., que son recorridos a velocidad convencional por material rodante de «alta velocidad».

Desde el punto de vista de los vehículos que circulan por dichas redes, se englobaría a los vehículos concebidos para circular:

- A una velocidad de 250 km/h como mínimo en las líneas especialmente construidas para la alta velocidad, pudiéndose, al mismo tiempo, en las circunstancias adecuadas, alcanzar velocidades superiores a los 300 km/h, o bien, a una velocidad del orden de 200 km/h en las líneas anteriores, en caso de ser compatibles con las posibilidades de esas líneas.
- A una velocidad máxima inferior a 200 km/h que posiblemente vayan a circular por toda la red transeuropea de alta velocidad, o por una parte de ésta, cuando sean compatibles con los niveles de rendimiento de dicha red y que, además, reúnan los requisitos que garanticen un funcionamiento seguro en esa red.

2.1.2 [Antecedentes del AVE. Línea Madrid – Zaragoza – Barcelona](#)

Los orígenes de la idea de implementar un transporte ferroviario de alta velocidad se remontan a la década de los años 80 del pasado siglo. El 8 de diciembre de 1988, el Consejo de Ministros aprobó el proyecto de la línea de alta velocidad Madrid – Barcelona, incluida en el Plan de Transporte Ferroviario (PTF), aprobado un año antes. El proyecto no contemplaba una línea para velocidades de 300 km/h, sino la duplicación de vía en todo el trazado existente con nuevas variantes a lo largo del mismo. La diferencia con el resto de la red ibérica obligó, finalmente, a que en lugar de nuevos accesos se construyera una infraestructura independiente en ancho UIC (ancho de 1.435 mm, para ser compatible con el resto de Europa) con parámetros de alta velocidad de forma similar a la línea ya existente de TGV en Francia.

Se empezó por el tramo entre Madrid y Sevilla (la intención en origen fue la de construir una nueva línea entre Getafe y Córdoba, en un proyecto denominado Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía). La marca comercial “AVE” comenzó a utilizarse para denominar la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla, inaugurada el 21 de abril de 1992.

La construcción de la línea de AVE Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera Francesa fue declarada prioritaria en el Consejo de Ministros de 9 de diciembre de 1988 y los primeros trabajos para su construcción se iniciaron en 1993 por un importe total de 6.822.833 miles de euros. Las primeras licitaciones y adjudicaciones de contratos fueron realizadas por el entonces Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente durante los ejercicios 1995 y 1996.

El tramo Madrid – Zaragoza – Lleida, de 443 kilómetros de longitud y una inversión de 4.500 M€, entró en servicio en octubre de 2003, con trenes Altaria y AVE Serie 100 procedentes de la línea Madrid – Sevilla. Inicialmente sólo alcanzaban velocidades punta de 200 km/h.

En el año 2006, con el sistema de señalización denominado “Ertms nivel 1”, instalado por primera vez en España, los trenes AVE alcanzaron velocidades máximas primero de 250 km/h, luego de 280 km/h y finalmente de 300 km/h (mayo de 2007), lo que redujo considerablemente los tiempos de viaje.

Las estaciones de este trayecto inicial, además de la terminal de origen Madrid-Puerta de Atocha, fueron Guadalajara-Yebes (nueva), Calatayud (remodelada y ampliada), Zaragoza-Delicias (nueva) y Lleida-Pirineus (remodelada).

En mayo de 2006, circuló el primer servicio comercial entre Madrid y Barcelona mediante un tren Alvia de CAF de ancho variable (Serie 120) que utilizaba un cambiador situado en Puigvert, Lleida, para continuar el viaje directo a Barcelona por la vía convencional.

En diciembre de 2006, tras una inversión de 1.613 M€ se inauguraron otros 108 kilómetros de la línea correspondientes al tramo Lleida – Camp de Tarragona y a la variante de Lleida. La apertura de este tramo supuso la primera conexión entre sí de los capitales catalanas mediante la alta velocidad.

Catorce meses después, en febrero de 2008, se puso en servicio el tramo Tarragona – Barcelona, de 98 kilómetros y una inversión de 2.653 M€, con el que se conectaba en alta velocidad las dos principales ciudades españolas.

La línea de AVE entre Madrid y Barcelona cuenta con una longitud total de 621 Km. Tras una inversión global de casi 9.000 M€, con la entrada en servicio del tramo hasta Barcelona-Sants el 20 de febrero de 2008, se conectaron Madrid y Barcelona en 2 horas y 38 minutos con trenes directos y en 3 horas y 20 minutos con los trenes que con paradas en las estaciones intermedias, alcanzando una velocidad media de unos 240 Km/h. A finales de 2011, con la puesta en marcha del sistema de señalización denominado “Ertms nivel 2”, se incrementó la velocidad de los trenes a 310 Km/h.

A nivel europeo, la línea ferroviaria de AVE Madrid-Barcelona-Frontera Francesa forma parte del Esquema Director de la Red Transeuropea de Alta Velocidad, siendo uno de los 14 proyectos prioritarios en materia de transportes definidos en la Cumbre Europea de Essen en diciembre de 1994.

La construcción de la línea férrea de AVE Madrid- Barcelona ha sido cofinanciada por el Fondo de Cohesión que, durante el periodo 2000 a 2006, aportó 3.388.900 miles de euros para las obras de la plataforma del tramo Madrid-Barcelona, el suministro y montaje de vía del tramo Madrid-Vilafranca del Penedés y las instalaciones de electrificación, señalización y comunicaciones del tramo Madrid-Lleida. Además, Redes Transeuropeas de Transporte (RTE-T) aportó 70.900 miles de euros para financiar los estudios, los proyectos y las obras de la plataforma del tramo Maçanet-Sils (entre Barcelona y Girona). Dentro del periodo 2007 - 2013 se cofinanciaron con ayudas de 10.600 miles de euros provenientes de (RTE-T) para la implementación del Sistema de Gestión de Tráfico Ferroviario Europeo (ERTMS) para el tramo Barcelona-Figueras.

A partir del 23 de mayo de 1997 se atribuye por Acuerdo del Consejo de Ministros las competencias al GIF, que se había creado por la Ley 13/1996, de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales,

Administrativas y del Orden Social como un Ente Público de los previstos en el entonces vigente artículo 6.5 de la Ley General Presupuestaria, transformándose posteriormente en Entidad Pública Empresarial por la Ley 50/1998, de 30 de diciembre. Su objeto era la construcción y administración de las infraestructuras ferroviarias que determinara el Gobierno, a propuesta del Ministerio de Fomento. El GIF inició su actividad en 1997, formalizando varios contratos de consultoría y asistencia relacionados con la construcción del AVE Madrid-Barcelona. Posteriormente, el 9 de abril de 1999, el Consejo de Ministros excluyó de la encomienda al GIF el tramo Figueras- Frontera Francesa, al integrarse en el tramo Figueras-Perpignan, en virtud del acuerdo adoptado entre los Gobiernos de España y Francia el 10 de octubre de 1995.

El 31 de diciembre de 2004 entró en vigor la Ley 39/2003, de 17 de noviembre, del Sector Ferroviario (LSF), con la finalidad de incorporar al derecho español diversas directivas comunitarias, estableciendo una completa reordenación del sector ferroviario estatal, sentando las bases para que pudiera producirse una progresiva entrada de nuevos actores en este mercado.

La nueva Ley reguló el modo en que había de llevarse a cabo la administración de las infraestructuras ferroviarias, encomendando esta función a la Entidad Pública Empresarial Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles que pasó a denominarse ADIF, manteniendo la naturaleza de Entidad Pública Empresarial, habiéndose subrogado en la posición del GIF en las encomiendas de construcción que estaba llevando a cabo. El ADIF empezó a funcionar el 1 de enero de 2005. Asimismo, con dicha Ley también se creó la Entidad Pública Empresarial RENFE-Operadora que quedó encargada de la prestación de servicios de transporte ferroviario.

2.2 Hyperloop

2.2.1 Descripción

Hyperloop es un medio de transporte de alta velocidad en desarrollo con un concepto de diseño abierto, en el que los aportes de la comunidad científica mundial pueden hacer avanzar el diseño y hacerlo una realidad, propuesto para ser una alternativa a los barcos, aviones, automóviles y trenes. En teoría, el sistema sería capaz de viajar a más de 1.100 km/h.

Consiste en un tubo que contiene aire a baja presión por el que unas cápsulas circulan sobre un colchón de aire. El morro de la cápsula contiene un compresor eléctrico que transfiere alta presión de aire desde el morro a la cola de la cápsula. El compresor proporciona levitación y en menor grado propulsión.

2.2.2 Historia y avances

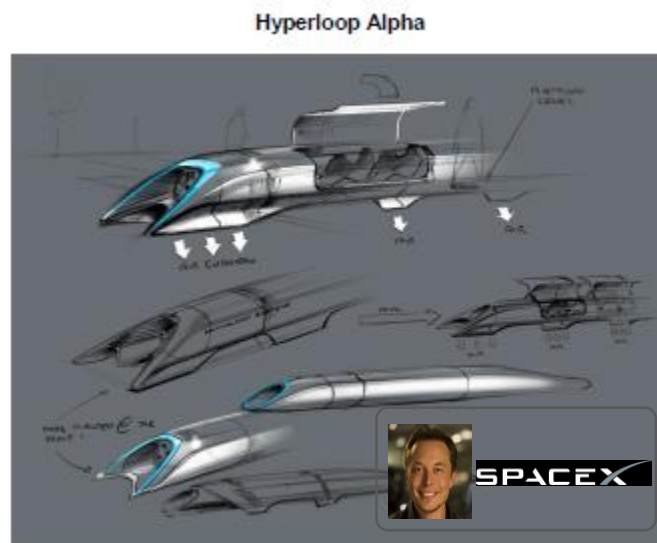
En julio de 2012, **Elon Musk** presentó por primera vez la idea del Hiperloop en el evento de Pando Daily en Santa Mónica (EEUU):

Este sistema que tengo en mente, [...] qué le parecería si existiera algo que nunca se estrellase, que fuera inmune al tiempo meteorológico, que anduviera tres o cuatro veces más rápido que el tren bala [...] que fuera a una velocidad promedio que duplica la de un avión. Sería posible ir desde el centro de la ciudad de Los Ángeles al centro de la ciudad de San Francisco en menos de 30 minutos. Costaría mucho menos que un billete de avión o que cualquier otro medio de transporte. Creo que podríamos hacer que se auto-abasteciese de energía si se instalasen en él

*paneles solares, se generaría más energía que la que se consumiría en el sistema.
Es posible almacenar la energía de tal modo que funcionase 24/7 sin necesidad de
baterías. Sí, esto es posible, absolutamente.*

Posteriormente, su ideólogo, el famoso fundador de otras empresas tecnológicas como Tesla Motors o SpaceX, presentó el 12 de agosto de 2013 las bases que fijarían el punto de partida del nuevo sistema de transporte en un documento denominado *Hiperloop Alpha*, que describe y cuantifica económicamente la idea del nuevo sistema para el corredor Los Ángeles – San Francisco.

Figura 1. Documento Hyperloop Alpha con montaje fotografía de Elon Musk



Fuente. Elaboración propia

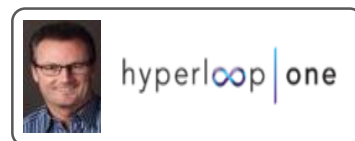
Elon Musk, a través de su empresa SpaceX, presentó un concurso de ideas para el desarrollo, tanto del diseño como la de construcción de la cápsula denominado “Hyperloop Pod Competition”. La primera fase de presentación de ideas finalizó en noviembre de 2015 y en febrero de 2016 ha sido la adjudicación. El ganador para el diseño y modelo de propulsión de la cápsula (denominada vaina) ha sido un equipo de la universidad politécnica de Valencia y para la construcción otro equipo del MIT de EEUU.

Las cápsulas se probarán en la primera pista de pruebas de Hyperloop del mundo, que mide más de 1,5 kilómetros y que se está construyendo en Hawthorne, California, sede de SpaceX.

Además de la empresa del ideólogo del Hyperloop, se han creado dos empresas más para convertir Hyperloop en realidad:

- **Hyperloop One (H-One)**

Empresa con estructura tipo de capital-riesgo cuyo CEO es Rob Lloyd, anterior presidente de ventas e investigación de CISCO. Cuenta en plantilla con más de 100 ingenieros.



Actualmente están construyendo un demostrador en Nevada (EEUU). Las empresas SCNF y GE (entre otros) han entrado en su capital y cuenta con acuerdos con Arup, Aecom, Systra, DB Consulting, etc.

Al igual que SpaceX, actualmente ha convocado un concurso, el “Hyperloop Global Challenge”, cuya participación a nivel mundial se pretende que sirva para identificar y seleccionar corredores a lo largo del mundo con el potencial y capacidad de desarrollar y construir la primera infraestructura de Hyperloop. Se están presentando equipos de todo el mundo, con fecha 15 de septiembre del 2016 se cierra la presentación de corredores, para anunciar el 1 de enero de 2017 doce equipos finalistas, con el objetivo de que el 1 de marzo de 2017 se seleccionen tres corredores (personas o mercancías) donde H-One desplegaría su tecnología.

- **Hyperloop Transportation Technologies (HTT)**

Su fundador y director ejecutivo, Dirk Ahlborn, quiere que la empresa se desarrolle mediante trabajo voluntario a cambio de participación accionarial. Colaboran profesores y técnicos de prestigio.

La empresa (actualmente colaboran más de 500 personas) cuenta con un híbrido entre empleados y voluntarios, que trabajan un mínimo de diez horas semanales a cambio de acciones en la empresa. Están repartidos en grupos de aproximadamente 17 personas, coordinados por lo que denominan un “hypermanager”.

La compañía piensa en comenzar la construcción de un demostrador de 8 Km en California (EEUU), a partir de noviembre de 2016.



3 Marco Metodológico

En el presente epígrafe se exponen los supuestos de partida, así como ciertas hipótesis, asunciones y parámetros sobre los que se desarrolla el análisis comparativo entre el AVE y el Hyperloop.

Dentro del marco de partida se define el horizonte temporal, que se establece en el año 1997, fecha en la que el Gestor de Infraestructuras Ferroviarias recibió el encargo de la construcción de la línea completa de alta velocidad entre Madrid y Barcelona.

Como parte del marco metodológico se establece que el Hyperloop es un medio de transporte viable técnicamente. Asimismo, se decide aplicar el marco normativo vigente en la actualidad.

Se incluyen también en el presente epígrafe las hipótesis y asunciones globales que afectan tanto al Análisis Coste Beneficio como al Análisis Económico-Financiero, y tanto para el proyecto del AVE como del Hyperloop. En este sentido, se definen variables macroeconómicas como inflación, PIB, impuestos aplicables, etc.

Los plazos de construcción, financiación, amortización de activos, etc. son también variables que se definen en el presente epígrafe.

Hipótesis Físicas

- **Trayecto:** el trayecto considerado une las poblaciones de Madrid, Zaragoza y Barcelona.
- **Trazado AVE:** se considera el trazado real del corredor que une las diversas localidades en las que tiene parada en la actualidad pero considerando solo tres estaciones: Madrid, Zaragoza y Barcelona. Los radios mínimos para las curvas superan los 7.000 m y la pendiente máxima admitida es de 25 milésimas, aunque en los tramos proyectados hasta Lleida no superan las 18 milésimas.

El tramo lleva instalado un sistema ETCS nivel 2 permitiendo una velocidad máxima de 310 km/h desde el 11 de diciembre de 2011. El sistema de control de toda la línea está constituido por un subsistema de enclavamiento electrónico SEI, completado por un subsistema de control ATP (*Automatic Train Protection*) - ETCS nivel 2, que cumple las especificaciones para 350 km/h e intervalos de 2 minutos 30 segundos entre trenes.

El trazado completo cuenta con una longitud total de 621 km con una duración de trayecto sin paradas de 150 minutos. La distancia considerada entre Madrid y Zaragoza es de 307 km con una duración de trayecto de 80 minutos y entre Zaragoza y Barcelona, la distancia es de 314 km con una duración de trayecto de 85 minutos.

- **Trazado Hyperloop:** se considera un trazado teórico obtenido a partir de un análisis basado en acoplar al máximo los parámetros geométricos teóricos del Hyperloop y las distintas alternativas que se barajaron en el trazado del AVE.

Los radios mínimos considerados en el documento *Alpha* para las curvas oscilan entre los 3.670 m para velocidades de 480 km/h y los 23.500 m para velocidades punta de 1.200 km/h. Durante la operación, la frecuencia media de circulación de las vainas considerada es de 2 minutos (distancia media de separación entre vainas de 37 km) y de 30 segundos en horas pico.

El trazado completo cuenta con una longitud total de 550 km con una duración de trayecto sin paradas de 35 minutos. La distancia considerada entre Madrid y Zaragoza es de 272 km y entre Zaragoza y Barcelona, 278 km con una duración de 20 minutos en ambos trayectos.

Hipótesis Temporales

- **Período de construcción:** Con el objeto de homogeneizar el Plan de Viabilidad de los dos medios de transporte, se considera un mismo período de construcción establecido en cinco (5) años, que cubren el periodo comprendido entre los años 2003 y 2007, ambos inclusive.
- **Evolución de construcción:** Se considera una evolución anual de la construcción, tanto para el AVE como para el Hyperloop, del 20%.

Hipótesis Económicas

- **Inflación:** Se considera el valor histórico de la inflación que se ha producido en España desde el año de inicio del análisis, en 2003, hasta el año 2015, publicado en el portal del Fondo Monetario Internacional (FMI). Desde el año 2016 hasta el año 2020 se considera la estimación de la inflación en España publicada por el FMI, y a partir del año 2021 se considera un valor constante de inflación de 1,5%.
- **PIB:** Se considera el valor histórico de crecimiento del Producto Interior Bruto que se ha producido en España desde el año de inicio del análisis, en 2003, hasta el año 2015, publicado en el portal FMI. Desde el año 2016 hasta el año 2020 se considera la estimación de crecimiento del PIB en España publicada por el FMI, y a partir del año 2021 se considera un valor constante de 1,75%.

4 Análisis Técnico

En el presente epígrafe número cuatro se lleva a cabo el análisis técnico de los proyectos AVE e Hyperloop. Dicho análisis incluye el estudio físico y definición del corredor Madrid-Barcelona, así como los parámetros de diseño y las características técnicas de ambos medios de transporte.

4.1 Estudio físico. Descripción del corredor

A la hora de describir el trazado de las dos opciones hay que tener en cuenta diversos aspectos, a saber:

- Existen ciertas variaciones entre el corredor definido para el AVE y el corredor definido para el Hyperloop, debido a los parámetros geométricos mínimos que requieren cada uno de los dos sistemas de transporte.
- El trazado del AVE planteado se corresponde con el trazado real, siendo el corredor analizado el que une las diversas localidades en las que tiene parada en la actualidad pero considerando solo tres paradas: Madrid, Zaragoza y Barcelona. La longitud total considerada es de 621 km.
- El trazado del Hyperloop se basa en un análisis teórico que no se corresponde con un diseño de detalle por no ser ello el objeto del presente Proyecto. El análisis realizado intenta acoplar al máximo los parámetros geométricos indicados en el epígrafe 4.2.2 de este Estudio y las distintas alternativas que se barajaron en el trazado del AVE. La longitud total considerada es de 550 km.
- El corredor, tanto para el AVE como para el Hyperloop realiza el trayecto Madrid – Barcelona con algunos trayectos de una parada intermedia en Zaragoza.

4.1.1 Tramo: Madrid (estación de Atocha) – Zaragoza

Para el AVE, la distancia total considerada entre Madrid y Zaragoza es de 307 km y para el Hyperloop, de 272 km. A continuación, se describe brevemente el trazado para cada uno de los sistemas de transporte.

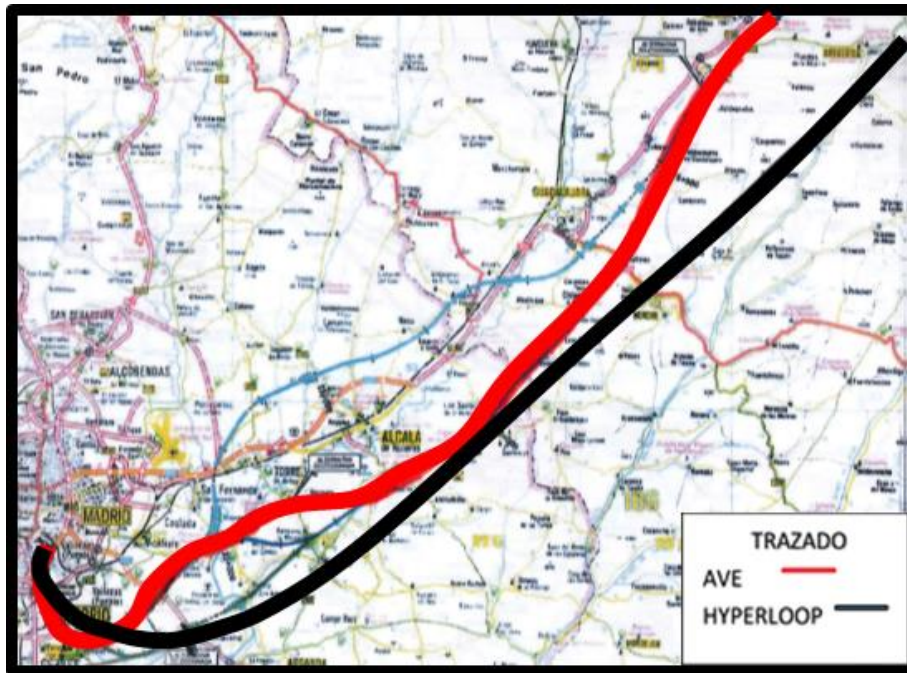
En el AVE, el trazado parte de Madrid sin prácticamente dificultades orográficas hasta sobrepasar la localidad de Alcolea del Pinar. A partir de aquí la orografía se encrespa (estribaciones de la Sierra Ministra y Sierra Chaoma) hasta que, tras cruzar el río Piedra, se abre a la vega del río Jalón.

El presente tramo se puede descomponer en los siguientes subtramos diferenciados:

- **Salida de Madrid:**

Se parte del N.A.F.A. (Nuevo Acceso Ferroviario Andalucía, actual AVE Madrid – Sevilla) cruzando el Jarama a la altura de su confluencia con el río Henares, dejando al Sur el núcleo de Mejorada del Campo, hasta aproximadamente el P.K. 26+209 de la línea.

Figura 2. Trazado tramo Madrid - Zaragoza. AVE e Hyperloop (I)

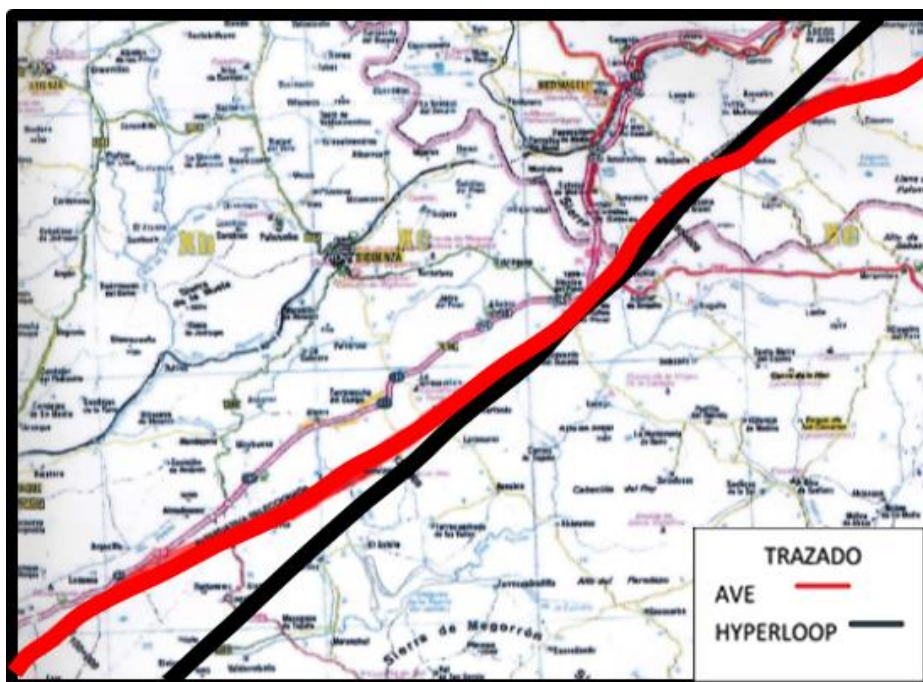


Fuente: Elaboración propia

- **Salida de Madrid - Calatayud:**

En el AVE comprende el subtramo entre los P.K. 26+ 209 y 197+ 302, llegando a la variante de Calatayud-Valle, tras el cruce del río Piedra, pasando por la localidad de Ricla (dejando al Noroeste el núcleo de Calatayud), avanzando por el margen derecho del Jalón sin llegar a cruzarlo.

Figura 3. Trazado tramo Madrid - Zaragoza. AVE e Hyperloop (II)

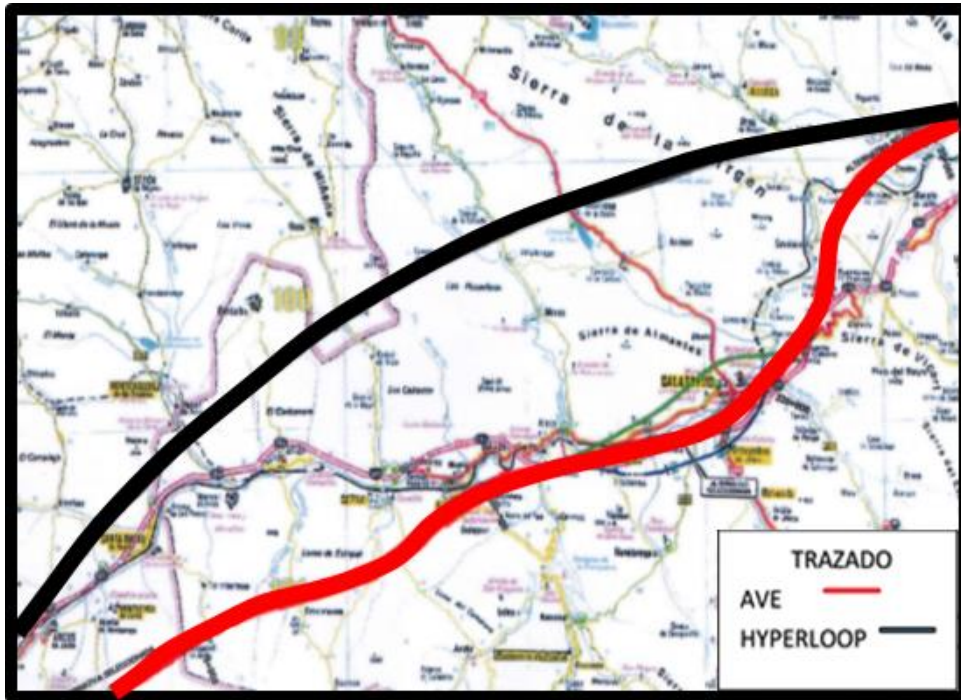


Fuente: Elaboración propia

El trazado del Hyperloop sale de la estación de Atocha llegando hasta la localidad de Rivas Vaciamadrid (una de las alternativas barajadas para el AVE).

A partir de esta localidad, realiza una alineación prácticamente recta hasta la localidad de Santa María de Huertas, pasando al norte de Horche, al sur de Brihuega, en paralelo a la A-2, al sur de la alineación del AVE hasta cruzar su trazado para avanzar por el sur de Arcos del Jalón, y el norte de Santa María de Huertas, dejando Calatayud al sur.

Figura 4. Trazado tramo Madrid - Calatayud. AVE e Hyperloop (III)



Fuente. Elaboración propia

- **Calatayud - Zaragoza:**

En el AVE comprende lo siguiente: el subtramo entre los P.K. 26+ 209 y 197+ 302, llegando a la variante de Calatayud-Valle, tras el cruce del río Piedra, pasando por la localidad de Ricla (dejando al Noroeste el núcleo de Calatayud), avanzando por el margen derecho del Jalón sin llegar a cruzarlo.

- **Calatayud - Ricla:**

El corredor por donde discurre el tramo, una vez abandonada la plataforma actual, al Norte de Marivella y el Puerto Cabrero, gira para pasar al Este de Paracuellos de la Rivera, Saviñán y Purroy. A la altura de Villanueva de Jalón cruza el río Jalón. Gira hacia el Noreste pasando entre Arándiga y Chodes. Cruza posteriormente el río Aranda. Pasa al Norte de Ricla y alcanza la estación de Salillas de Jalón donde se une al tramo Ricla-Zaragoza.

El relieve muy accidentado de la zona atravesada hace necesaria la construcción de nueve tramos de túnel que ayudan a salvar las barreras infranqueables de la orografía. El total del trazado en túnel alcanza los 9,6 km, siendo el de Las Caleras un túnel artificial.

En contraposición al relieve muy accidentado de la zona se encuentra un trazado en planta con radios y longitudes amplios que permiten la circulación a 350 km/h en casi todo el trazado. El

único elemento circular con radio inferior a 7.000 m se encuentra en la salida de la estación de Calatayud, donde por su situación no afecta ni a la velocidad ni a los tiempos de recorrido.

- **Ricla - Zaragoza:**

Se continúa la traza desde el final del tramo Calatayud-Ricla avanzando por el Sur del Aeropuerto, con el fin de evitar la afección en la zona regada por el Canal Imperial de Aragón y ocupada por numerosas edificaciones diseminadas.

El corredor de acceso aprovecha el corredor ocupado por la autopista de Conexión entre la A-II y el Cuarto Cinturón de Zaragoza, hasta alcanzar la carretera de Logroño. Llegado a este punto la traza describe un marcado giro a la derecha de radio 1.100 m para disponerse paralela y adosada a la actual línea ferroviaria, hasta su acceso a la Estación de “El Portillo” de Zaragoza.

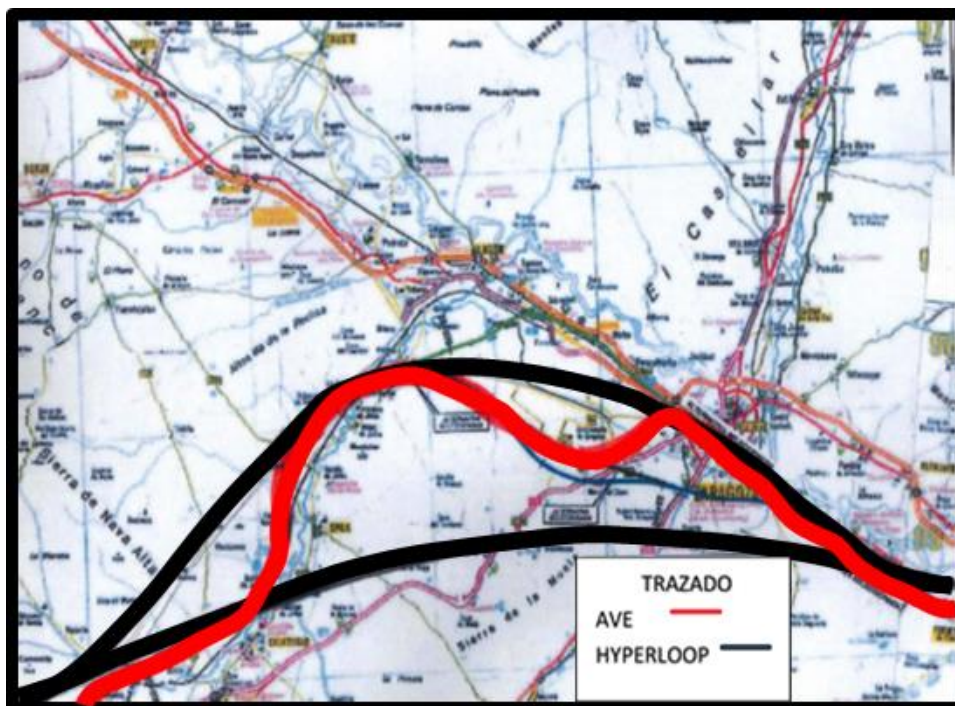
- **Bypass Zaragoza:**

Coincidiendo con el cruce de la carretera a la Base Aérea, a la altura del desvío al Campo de Golf “La Peñada”, arranca el Bypass asociado a este acceso. Este bypass permite relaciones directas Madrid - Barcelona sin paso por la estación de “El Portillo”.

Dado que técnicamente no es factible disponer cizallamiento de vías, el desvío del bypass plantea un salto de camero que permite a la vía de entrada en Zaragoza pasar sobre el trazado del bypass.

Desde el cruce citado la traza se orienta hacia el Este y cruza la A-II tratando de alejarse lo máximo posible de la Feria de Zaragoza y de conectar con la traza.

Figura 5. Trazado tramo Calatayud - Zaragoza. AVE e Hyperloop



Fuente: Elaboración propia

En el **Hyperloop** aprovecha un trazado en planta con radios y longitudes amplios (más de 23,50 km de radio) que permiten la circulación a más de 1.000 km/h en casi todo el trazado. Al igual que en el trazado del AVE la zona atravesada de la sierra de la Virgen y de la Muela hace necesaria la

construcción de varios tramos de túnel. Para los trayectos a Zaragoza se construye una rama en bypass, al igual que en el AVE.

4.1.2 [Tramo Zaragoza - Barcelona](#)

Para el AVE, la distancia total considerada entre Zaragoza y Barcelona es de 314 km, mientras que para el Hyperloop es de 278 km. A continuación, se describe brevemente el trazado para cada uno de los sistemas de transporte.

Para el AVE, el presente tramo se puede descomponer en los siguientes subtramos diferenciados:

- **Zaragoza - Lleida:**

En el trazado del AVE, comienza el tramo en la estación de Zaragoza "El Portillo". El enlace de la estación "El Portillo" con el subtramo I atraviesa una zona de entorno urbano y dentro de esta existe un tramo que discurre por un túnel existente, que sale a superficie en las proximidades del Parque de la Granja.

El trazado pasa por el apartadero de Miraflores pasando al sur de Cartuja Baja, donde se sitúa sensiblemente paralelo a la N-232. A la altura de Fuentes de Ebro cruza la N-232 y el río Ebro, pasa al noroeste de Aguilar de Ebro, cruzando posteriormente la N-II y la A-2. Seguidamente y mediante un giro, se dispone paralela a esta última.

A la altura de Candasnos el trazado gira hacia el norte para pasar entre los municipios de Ballobar y Zaidín. Bordea por el norte el embalse del Canal y pasa al norte de Vallmanya, cruza la sierra del Coscollar situándose paralela a la línea actual en las proximidades del apeadero abandonado de Montagut-Alcarraz. Pasado este se une al tramo Lleida-Barcelona y al acceso a Lleida.

También se incluye dentro de este tramo el eje de unión de la vía de acceso a Lleida con la actual estación. La longitud de este tramo alcanza aproximadamente 129 km.

En su desarrollo afecta a importantes flujos de agua como el Canal Imperial de Aragón, río Ebro, río Cinca, canal de Sastago y el Canal de Aragón y Cataluña.

Las vías de comunicación que se ven afectadas por el trazado son la A-222, N-232, FF.CC Zaragoza-Tarragona, N-II, A-2, así como otras carreteras comarcales y locales, además de afectar al oleoducto Tarragona-Zaragoza.

Dada la orografía con gran cantidad de flujos de agua, este tramo se caracteriza por la existencia de importantes estructuras y viaductos, dentro de los cuales cabe mencionar el proyectado para salvar el río Ebro. La longitud total en viaducto es de 6.000 m.

Otro punto importante es el túnel de las Hechiceras con una longitud próxima a los 3.100 m.

Los radios más restrictivos se encuentran situados en la unión de la estación "El Portillo" con el denominado subtramo I, cuya longitud es de 2,7 km, debido a los condicionamientos urbanos del corredor por donde discurre. Los valores de los radios se encuentran comprendidos en el intervalo 385 y 515 m.

Los demás radios implantados tienen en su mayor parte radios superiores a los 7.000 m., existiendo sólo un elemento con radio menor de 4.000 m., situado al inicio del subtramo I. Los valores de los radios dispuestos permiten circular a una velocidad máxima de 350 km/h.

Respecto al trazado en alzado la mayor parte de él discurre con pendientes inferiores a 20 milésimas, existiendo un 25,5% del trazado que discurre con pendientes comprendidas entre 20 y 25 milésimas. En ningún tramo se supera esta última cifra.

Los tramos con pendientes superiores a las 20 milésimas se encuentran situados en los términos municipales de Zaragoza sobre el Canal Imperial de Aragón, en la unión del término de Zaragoza con Fuentes de Ebro, en el tramo comprendido entre el paso sobre la A-222 y el Canal Imperial de Aragón, en Pina de Ebro, La Almolda, Peñalva, Candanos, Ballovar donde se encuentra el túnel de las Hechiceras, Zaidin y AJcarrás.

Lleida - Barcelona:

El presente tramo se compone, a su vez, de los siguientes subtramos:

- **Lleida - Barcelona:**

En conjunto, el trazado se acerca a Tarragona para facilitar la conexión con el Corredor Mediterráneo. No existen grandes problemas de trazado que obliguen a disponer parámetros no adecuados para el AVE salvo en dos zonas en concreto: La Sierra del Tarrés, donde para superarla se han previsto pendientes de 20 y 25 milésimas de longitud apreciable y la parte final de conexión con el acceso a Barcelona.

El tramo comienza en la conexión con el tramo Zaragoza-Lleida y tiene una longitud de 180 km. El origen del trazado está situado antes de llegar a la ciudad de Lleida y pasa al Sur de ésta dirigiéndose en dirección Sureste hacia Les Borges.

El trazado es bastante rectilíneo y suavemente ascendente pasando por los municipios de Lleida, Artesa de Lleida, Puigverd de Lleida, Juneda y Les Borges Blanques transcurriendo paralelamente por la margen izquierda de la A-2.

En esta zona, el perfil longitudinal es ascendente con rampas y pendientes fuertes de hasta el 25‰.

Se entra en la provincia de Tarragona mediante un túnel de 300 m de longitud por la sierra de Tarrén. Comienza el descenso de la Sierra con pendientes muy fuertes del 25‰ por los municipios de Vimbodi y L'Espluga de Francolí.

El trazado que había discurrido paralelo a la A-2 se separa dirigiéndose hacia el Sur y atravesando la Sierra de Montblanc en una sucesión de viaductos y túneles, cruzando los ríos Anguela y Francolí. Una vez pasadas las estribaciones de Montblanc se entra en el municipio de Valls que es una zona de morfología muy suave.

A continuación, se entra en túnel de 1.450 m hasta llegar a El Vendrell. En este tramo el perfil del terreno es bastante escarpado debiéndose realizar un total de 6 túneles y 4 viaductos de pequeña longitud.

Una vez pasado El Vendrell se cruza la N-340 varias veces, siendo el perfil ascendente entrando en Barcelona hacia Villafranca del Penedés.

Una vez atravesada Villafranca del Penedés se continúa en paralelismo por la margen izquierda de la Autopista A-7, dejando San Sadurn d'Anoia a la izquierda y cruzando Martorell. La orografía en esta zona es bastante escarpada, dando lugar a una sucesión de varios viaductos sobre los ríos Averno y Anoia.

A partir de Martorell, la morfología se hace mucho más complicada y además se mantiene el paralelismo a la A-7, siendo una zona muy urbanizada con grandes vías de comunicación que afectan al trazado obligando a radios menores de los recomendables. Se atraviesan varios municipios como Cantellbisbal, Sant Cugat del Vallés y Ripollet, entre otros. En toda esta zona, con una urbanización muy densa y los ríos Anoia y Llobregat discurren varios viaductos con más 1.500 m y varios túneles en una longitud total de más de 5.000 m, con longitudes comprendidas cada uno de ellos entre los 450 y 1.150 m; necesarios tanto por la orografía como por las afecciones que se producen.

- **Acceso a Barcelona:**

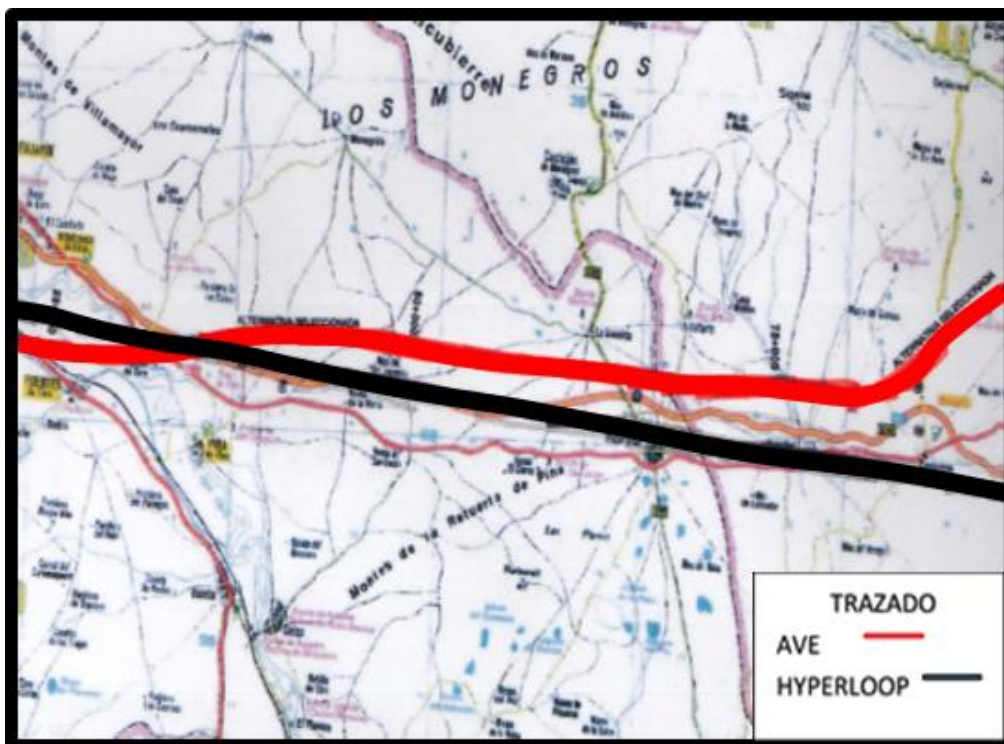
Tal y como ha sido diseñado el acceso a la ciudad, se entra en la estación en Barcelona por su acceso norte.

Para el **Hyperloop**, al no tener que pasar por Lleida, discurre en una alineación prácticamente recta, pasando en diversos puntos por encima de la N-II y AP-II (en Aguilar de Ebro, al igual que el AVE; Bujaraloz y Torrente de Cinca) y la N-230 y 231, cruzando el trazado del AVE en la localidad de Vimbodi.

Al igual que en el caso del AVE, el paso del río Ebro y de varios de sus afluentes hace que se incrementen la altura de las pilas por donde deben discurrir las vainas del Hyperloop. Sin embargo, el recorrido por el sur Fraga hace que evitemos, en gran medida, zonas que necesiten largos recorridos de túneles, por ejemplo, alejándonos de la zona de Ballobar (túnel de las Hechiceras). Discurre en una alineación prácticamente recta por la sierra D'Ancosa, hasta llegar a Martorell, evitándose la zona escarpada del Vendrell.

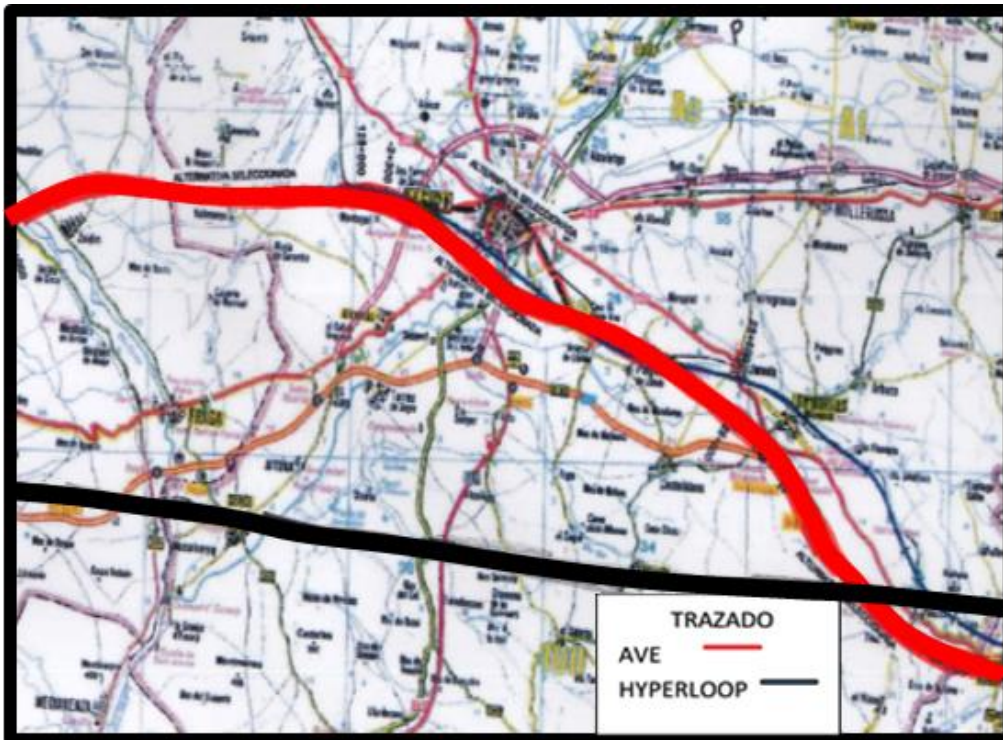
A partir de aquí, al igual que con el trazado del AVE, se entra en una zona de confluencia de varias autovías y zonas muy pobladas que hace que se tengan que disponer de varios tramos de túneles hasta entrar en la estación en Barcelona por su acceso norte.

Figura 6. Trazado tramo Zaragoza - Lleida. AVE e Hyperloop (I)



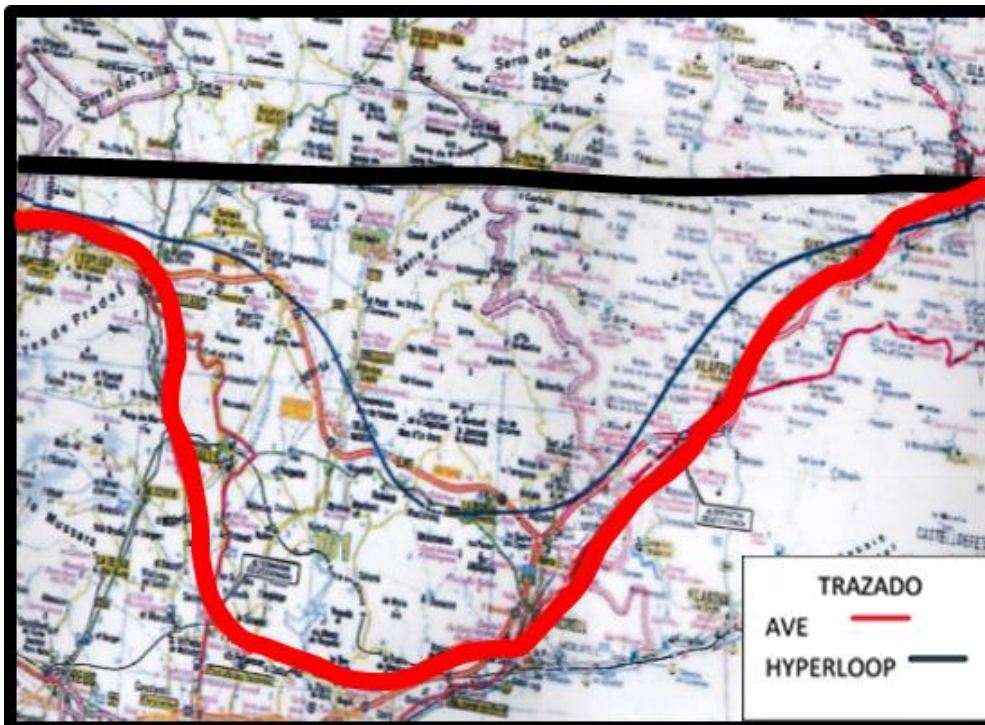
Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Trazado tramo Zaragoza - Lleida. AVE e Hyperloop (II)



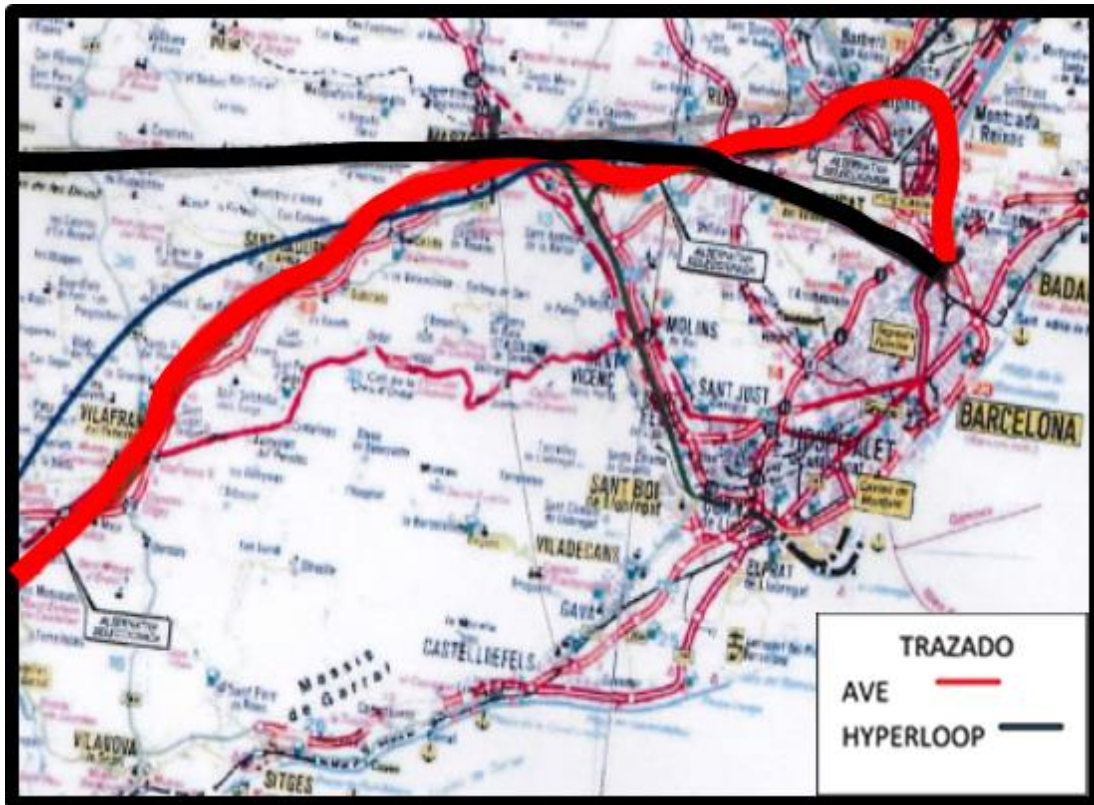
Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Trazado tramo Lleida - Barcelona. AVE e Hyperloop (I)



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Trazado tramo Lleida - Barcelona. AVE e Hyperloop (II)



Fuente: Elaboración propia

4.2 Parámetros de diseño

4.2.1 AVE

A continuación se incluyen los parámetros que se han tenido en cuenta a la hora del diseño de la línea de vía doble electrificada y de ancho internacional con tráfico exclusivo de viajeros para una velocidad máxima de 350 km/h para el tren Serie 103 de RENFE.

Los radios mínimos para las curvas superan los 7.000 m y la pendiente máxima admitida es de 25 milésimas, aunque en los tramos proyectados hasta Lleida no superan las 18 milésimas.

El tramo lleva instalado un sistema ETCS nivel 2 permitiendo una velocidad máxima de 310 km/h desde el 11 de diciembre de 2011. El sistema de control de toda la línea está constituido por un subsistema de enclavamiento electrónico SEI, completado por un subsistema de control ATP (Automatic Train Protection) - ETCS nivel 2, que cumple las especificaciones para 350 km/h e intervalos de 2 minutos 30 segundos entre trenes.

El trazado completo cuenta con una longitud total de 621 km con una duración de trayecto sin paradas de 150 minutos. La distancia considerada entre Madrid y Zaragoza es de 307 km con una duración de trayecto de 80 minutos y entre Zaragoza y Barcelona, la distancia es de 314 km con una duración de trayecto de 85 minutos.

Los parámetros que a continuación se indican fueron establecidos en su día por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes de España (actualmente Ministerio de Fomento) homogeneizando un

compendio de criterios de diseño para líneas de alta velocidad propuestos por RENFE, FS, DB, SNCF, TGV Atlantique e UIC.

Tabla 5. Parámetros de diseño para la línea de AVE (I)

Parámetro	Normal	Mínimo	Observaciones
Distancia entre ejes (m)	4,50		
Ancho de vía (m)	1,435		
Ancho plataforma cara superior balasto (m)	14,00		Pendientes transversales del 5%
Ancho hombro balasto (m)	1,10		
Pendiente banquetta balasto	3/2		
Espesor balasto bajo traviesa eje carril (cm)	30		
Espesor subbalasto (cm)	30		
Paso a nivel		Ninguno	
Anchura plataforma en viaducto (m)	14,00		
Gálibo pasos superiores	a = 14,00 m y H = 7,00 m		
Cargas puentes	UIC, EHE, Eurocódigo		
Longitud vía apartado (m)	600,00	480,00	
Distancia mínima eje apartado eje vía general más próxima (m)		6,25	
Rampa máxima normal (mm/m) para long ≤ 3 km	25		En caso de no cumplir el valor, estudio justificativo que pérdida de velocidad ≤ 15%
Rampa máxima excepcional (mm/m)		30	
Rampa máxima normal en vías de estacionamiento (mm/m)	2		
Rampa máxima excepcional en vías de estacionamiento (mm/m)		3	
Rampa en vías generales en apartaderos (mm/m)	0		
Desvíos			Escapes para V = 160 km/h y desvíos para V = 80 km/h en vía desviada

Fuente: Ministerio de Fomento (1997)

Tabla 6. Parámetros de diseño para la línea de AVE (II)

Parámetro	Valor	Observaciones
Velocidad máxima (km/h)	350	
Velocidad mínima (km/h)	250	
Aceleración sin compensar (m/s ²)	0,58	
Insuficiencia de peralte (mm)	90	$H_i = 11,8 V_{\max}^2 / R - H$ $H_e = H - 11,8 V_{\min}^2 / R$
Exceso de peralte (mm)	70	
Peralte máximo (mm)	150	
Radio mínimo en planta (m)	6.000	
Curva de transición	Clotoide	
Máxima variación de la Insuficiencia de peralte (mm/s)	30	
Máxima variación de peralte (mm/s)	30	
Máxima rampa de peralte (mm/m)	0,40	
Longitud mínima de la curva de transición para peralte máximo (m)	500	$LT \geq H/0,4$; $LT \geq 0,00926VH$; $LT \geq 0,00926 Vhi$
Aceleración vertical máxima (m/s ²)	-	
Radio mínimo de acuerdo vertical (m)	25.000	
Aceleración vertical máxima excepcional (m/s ²)	0,47	
Radio mínimo de acuerdo vertical (m)	20.000	$Rv \geq V^2 / (3,62 \times AV)$
Longitud mínima de acuerdo vertical (m)	175	$L \geq 0,5V$
Recta mínima entre acuerdos (m)	175	$L \geq 0,5V$
Longitud mínima de circunferencia (m)	175	$L \geq 0,5V$
Longitud mínima de recta entre alineaciones curvas (m)	175 ó 0	$L \geq 0,5V$

Fuente: Ministerio de Fomento (1997)

Tabla 7. Parámetros de diseño para la línea de AVE (III)

Parámetro	Valor	Observaciones
Composición mínima (coches)	8	Mc-R-M-R-R-M-R-Rc
Composición múltiple	2	
Estructura de la caja	-	Aluminio
Velocidad máxima (km/h)	350	
Plazas sentadas por unidad	404	

Parámetro	Valor	Observaciones
Motores de tracción (Ud)	16	Asíncronos
Potencia total en llanta (kW)	8.800	
Potencia por motor (kW)	550	
Transformadores (Ud)	2	
Convertidores de tracción (Ud)	4	tecnología GTO
Frenado	-	Regenerativo, reostático y neumático
Discos de freno neumático (Ud)	80	
Frenos de recuperación (Ud)	16	
Bloques de resistencia de freno (Ud)	4	
Distancia de frenado (mm)	3.900	(320 a 0 km/h)
Aceleración (s)	380	(0 a 320 km/h)
Ejes (Ud)	32	16 motores
Bogies (Ud)	16	8 motores
Distribución	-	Bo'Bo'+2'2'+Bo'Bo'+2'2'+2'2'+Bo'Bo'+2'2'+Bo'Bo'
Diámetro de rueda (mm)	920	
Sistemas de señalización		ERTMS niveles 1 y 2, ASFA, STM de LZB

Fuente: Ministerio de Fomento (1997)

4.2.2 [Hyperloop](#)

A continuación se incluyen los parámetros geométricos que se han tenido en cuenta a la hora del diseño de la línea según el documento *Hyperloop Alpha* del año 2013.

Los radios mínimos considerados en dicho documento para las curvas oscilan entre los 3.670 m para velocidades de 480 km/h y los 23.500 m para velocidades punta de 1.200 km/h. Durante la operación, la frecuencia media de circulación de las vainas considerada es de 2 minutos (distancia media de separación entre vainas de 37 km) y de 30 segundos en horas pico.

El trazado completo cuenta con una longitud total de 550 km con una duración de trayecto sin paradas de 35 minutos. La distancia considerada entre Madrid y Zaragoza es de 272 km y entre Zaragoza y Barcelona, 278 km con una duración de 20 minutos en ambos trayectos.

Tabla 8. Parámetros de diseño para la línea de Hyperloop (I)

Parámetro	Valor	Observaciones
Velocidad máxima trayecto (km/h)	1.200	
Velocidad máxima tramo urbano (km/h)	480	

Parámetro	Valor	Observaciones
Aceleración máxima a 20 °C (mach)	0,99	
Aceleración máxima pasajeros(g)	0,5	
Mínimo radio de curvatura a 480 km/h (m)	3.670	
Mínimo radio de curvatura a 890 km/h (m)	12.600	
Mínimo radio de curvatura a 1.200 km/h (m)	23.500	
Ancho de la cápsula (vaina) (m)	1,35	Equivalente a 1,4 m ² de área frontal
Alto de la cápsula (vaina) (m)	1,10	
Longitud skies vaina (m)	1,05	El diseño de la vaina de la universidad politécnica de Valencia (ganadora concurso de diseño) no necesita skies.
Ancho skies vaina (m)	0,9	
Separación media entre vainas en operación (km)	37	
Altura mínima de las pilas (m)	6	
Altura máxima de las pilas (m)	50	
Separación entre estructuras verticales "pilas" (m).	30	
Diámetro interior del tubo (m)	2,23	
Espesor de las paredes del tubo (mm)	23	
Ancho paneles solares (m)	4,25	
Longitud paneles solares (km)	550	

Fuente: Documento Alpha. Año 2013

4.3 Características técnicas del AVE

4.3.1 Características de la vía

La línea de AVE se extiende a lo largo de 621 kilómetros desde Madrid hasta Barcelona.

El trazado de la línea está diseñado para la circulación de unidades a 350 km/h, aunque Renfe Operadora lo explota comercialmente a una velocidad máxima de 310 km/h, tras la entrada en servicio en 2011 del ERTMS Nivel 2.

Por ello, se ha diseñado una vía doble electrificada, banalizada y dotada de las instalaciones de seguridad y comunicaciones para soportar dicha velocidad de diseño. Así se establece que la distancia entre ejes de vía general sea de 4,50 m, y que la distancia entre una de las vías generales y la más próxima de apartado sea de 6,25 m.

A continuación, se describen los diferentes elementos que componen la vía, así como los diferentes aparatos de vía que constituyen Puestos de Adelantamiento y Estacionamiento de Trenes (PAET) y los Puestos Intermedios de Banalización (PIB).

4.3.1.1 *Balasto*

Sobre la capa de sub-balasto de la plataforma se dispone una capa de balasto tipo A con un espesor mínimo de 30 cm bajo traviesa y 40 cm de espesor máximo, según la UIC 719-R.

El balasto procede del machaqueo y cribado de la piedra extraída en cantera con los granos de forma poliédrica y con aristas vivas, cumpliendo las siguientes condiciones:

- Resistencia a la compresión simple superior a 1.200 Kg/cm².
- Coeficiente de desgaste de Los Ángeles inferior o igual al 18%.
- Pérdida en el ensayo de resistencia a la desintegración por la acción de soluciones saturadas de sulfato magnésico inferior al 8% en peso.

La pendiente de la banqueta de balasto es 3H:2V, con una anchura de hombro lateral de 1,10 m.

Hay una serie de secciones en las que el balasto no apoya sobre la capa de sub-balasto:

- Sección en viaducto. El balasto apoya directamente sobre una capa de mortero de nivelación (para conseguir un bombeo del 2%) sobre el tablero.
- Sección en túnel. El balasto descansa sobre una cama de hormigón con un bombeo del 2% hacia el eje del túnel para drenaje del agua.

4.3.1.2 *Traviesas y sujeciones*

Se utilizan traviesas de hormigón monobloque polivalente PR 90, constituidas por una sola pieza de hormigón armado, dispuestas cada 0,60 m de vía y homologadas por ADIF. Para fijar el carril sobre la traviesa se emplean sujeciones tipo Vossloh H.M.

Para su puesta en obra las traviesas están equipadas con todos los elementos de sujeción, excepto las placas de apoyo de los carriles.

Se emplea carril tipo UIC-60, N.D. (dureza 90), de 60,34 kg/ml y calidad de acero de 90 kg/mm² de resistencia a tracción y al desgaste, suministrado en barras de 288 m de longitud, soldadas en taller. Sus uniones se realizan en obra mediante soldadura aluminotérmica.

4.3.1.3 *Aparatos de dilatación*

Se consideran aparatos de dilatación de carril en viaductos y en túneles de longitud importante debido a que hay que tener en cuenta el efecto del carril en el sentido longitudinal de dichas estructuras, el efecto de las variaciones de temperatura en la superestructura como consecuencia del acoplamiento que establece el lecho de balasto entre la superestructura y la vía, y la rigidez de la infraestructura.

Se emplean en las siguientes situaciones:

- En desplazamientos relativos permitidos entre carril y estructura portante, o entre ésta y terraplén y/o las tensiones adicionales ocasionadas en el carril en el viaducto sean muy altos.
- Cuando aumenta o disminuye la temperatura de forma brusca.

- Cuando son muy altas las fuerzas de frenado y arranque que se nivelan, debido a que la rigidez de la infraestructura no es suficiente.

Las solicitaciones adicionales que se producen en el carril en comparación con la vía libre no superan la magnitud de 72 N/mm² de compresión en verano ni los 92 N/mm² de tracción en invierno. Se limita el desplazamiento vía-viaducto a 4 mm. El cumplimiento de este requisito es el que determina esencialmente el sistema de puente necesario para compensar las fuerzas longitudinales.

4.3.1.4 Puestos de Explotación

Para la correcta explotación de la línea de alta velocidad se dispone de apartaderos cada cierta distancia, situándose un puesto de banalización entre los apartaderos contiguos, lo que permite la explotación de cada una de las vías en ambos sentidos de circulación.

Los apartaderos comportan limitaciones en la geometría del trazado, pues deben ubicarse en alineaciones rectas de unos 2.000 m de longitud con una rasante no superior al 2%. Los puestos de banalización exigen unos condicionantes de trazado similares, siendo necesaria una longitud recta de unos 1.000 m.

4.3.1.4.1 Puesto de adelantamiento y estacionamiento de trenes

La función de los apartaderos es retirar temporalmente de la vía general aquellas unidades más lentas o averiadas que supongan una perturbación en la normal explotación de la línea.

Para ello, los apartaderos diseñados constan de vías de apartado a ambos lados de las vías generales por estar previstas la coexistencia de circulaciones rápidas (ramas AVE) con otras más lentas (composiciones Talgo o T-200), así como una banalización de la vía principal (escapes al principio y al final de la instalación). En cada una de las vías de apartado se añade una vía de mango dispuesto en el lado del sentido de la marcha al final de la vía de apartado. Las vías de apartado disponen de un andén lateral, prolongándose en la vía mango. En este caso el andén es de tierra.

El conjunto del apartadero contiene el edificio técnico que contiene el control local de enclavamientos, señales, telemando, etc. En total, la longitud del apartadero tipo es de unos 2.000 m. La longitud libre de la vía de apartado propuesta es de 550 m (para contener dos ramas o dos composiciones Talgo o T-200 suficientemente largas), y la de la vía mango de 250 m.

La distancia entre eje de vías generales es de 4,50 m y de 6,25 m entre los ejes de la vía general y de apartado más próxima. A efectos de ocupación de espacio, el andén derecho (según sentido de Madrid a Barcelona) tiene una anchura de 4 m. En este lado está ubicado el local técnico. El andén opuesto dispone de una anchura de 3 m.

4.3.1.4.2 Puesto intermedio de banalización

El objetivo del puesto intermedio de banalización es permitir el paso de un tren de una vía a la opuesta, caso de anomalía de alguna de las secciones en las que se ha dividido el tramo. Sus longitudes son de más de 1.000 m.

Están constituidos por dos escapes, que permiten la velocidad de 350 km/h en vía general y 220 km/h en vía desviada. El aparato tiene una tangente de 1/65.

4.3.1.5 Aparatos de cambio de vía

Las características funcionales son las siguientes:

- Escape de banalización: velocidad de 350 km/h en vía directa y 220 en desviada. El aparato debe ser de tangente 1/65.

- Desvíos de apartado: velocidad de 350 km/h en vía directa y 80 en desviada. El aparato tiene una tangente de 1/15,3.
- Desvíos a la vía mango: mismas características que para las vías de apartado.
- Cambio tangente y curva parabólica. Carril y contracarril UIC 60 inclinado 1:20 en sección transversal.
- Traviesas de hormigón pretensado.
- Sujeción indirecta de los carriles mediante fijaciones metálicas.
- Agujas en carril UIC 61 de perfil bajo (142 mm) unida al talón mediante forja para permitir la soldadura aluminotérmica con el carril UIC 60 (172 mm) adyacente.
- Aparatos íntegramente soldados excepto la existencia de juntas aislantes encoladas necesarias para el funcionamiento de la señalización.
- Mantenimiento de las agujas y del corazón móvil mediante motores eléctricos individuales con palanca de mando manual incorporada.
- Cerrojo para evitar movimientos indeseados. Cada motor lleva un cerrojo de enclavamiento.
- En cada PAET son necesarios 4 desvíos 350-220 km/h y 6 desvíos 350-80 km/h.

4.3.2 Electrificación

4.3.2.1 *Sistema de electrificación*

Las prestaciones de velocidad a conseguir imponen una fuerte demanda de potencia, por lo que es necesario aplicar una tensión de catenaria suficientemente alta, para limitar las caídas de tensión y la densidad de corriente en los conductores.

Por otra parte, desde el punto de vista del binomio catenaria-pantógrafo, con objeto de tener una captación de corriente de calidad, es necesario montar una catenaria ligera, es decir, con conductores que tengan el menor peso posible, y en definitiva, una sección conductora pequeña.

Con el objetivo de solucionar las perturbaciones en los sistemas de telecomunicaciones al atravesar poblaciones al paso del tren, generadas por la puesta a tierra de las corrientes de retomo, que inducen campos electromagnéticos, y en base a la experiencia obtenida en la ejecución de la catenaria del T.G.V. Atlántico, París-Le Mans y París-Tours, se decidió utilizar el sistema de electrificación de 2 x 25 kV.

Su principal característica es introducir un hilo para la corriente de retomo ("feeder negativo"). La tensión existente entre el feeder de alimentación y el de retomo es de 50 kV y 25 kV entre carriles y catenaria, de forma que el material tractor sigue siendo el mismo en ambos casos. Así, el transporte de intensidad por la línea se realiza a 50 kV y la alimentación a 25 kV, de esta forma se minimiza prácticamente a la mitad, con lo que las subestaciones se pueden distanciar el doble.

Además de las subestaciones de tracción en línea, se utilizan autotransformadores a lo largo de ésta para transformar la tensión de 50 kV a 25 kV, permitiendo, un gran equilibrio en la tensión de la línea y protegiéndola contra corrientes vagabundas.

Por tanto, las características técnicas del sistema de alimentación 2 x 25 kV de la catenaria es el siguiente:

- Sistema basado en un transformador A.T./50 kV, en el que el arrollamiento secundario dispone de tres tomas, dos extremas y otra intermedia.
- Las tomas extremas, entre las cuales hay una tensión de 50 kV (2 x 25 kV), se conectan respectivamente a la catenaria y a un feeder que constituye el circuito principal de retorno.
- La toma intermedia, situada en el punto central del arrollamiento secundario y por tanto a una tensión de 25 kV con respecto a las tomas extremas, se conecta al carril de rodadura trabajando así como circuito secundario de retorno.
- El sistema se completa mediante la instalación de autotransformadores 50/25 kV cada 12-15 km aproximadamente, a cuya entrada se conectan catenaria y feeder y la salida a catenaria y carril de rodadura.
- Las subestaciones están separadas del orden de 70 km.
- La catenaria es de tipo poligonal, dado que la superficie que contiene el hilo sustentador, hilos y péndolas, tiene una proyección ortogonal con vértices en los puntos de sustentación debido al descentramiento. Se constituye mediante un sistema de suspensión que contiene sustentadores de bronce de 120 mm² de sección con una conductividad del 60% y con una tensión mecánica de 2.000 daN y un hilo de contacto ranurado de 150 mm² de sección en cobre y manganeso (0.6%) con una tensión mecánica de 225 n/mm².

Debajo de la canaleta de comunicaciones, y a todo lo largo del trayecto, se incluye un colector de tierras para crear una plataforma equipotencial a todo lo largo de la línea que elimine cualquier riesgo de sobretensión en cualquier elemento de la línea.

Las tensiones mecánicas de los conductores del sustentador e hilo de contacto están reguladas mediante polipastos y contrapesos independientes para cada uno de ellos. Este mecanismo asegura que las tensiones mecánicas del sustentador e hilo de contacto, permanecerán constantes entre -20° y +80° C.

Los vanos máximos son de 65 m. y los descentramientos son de ± 20 cm en vía recta. El descentramiento es de ± 24 .cm.

En vía general, la altura de catenaria es de 1.40 m. La longitud de péndolas está calculada para que el hilo de contacto presente, en posición estática, una flecha de 1/1.000 del vano.

En toda la línea, la altura del hilo de contacto sobre el carril, en los postes, es de 5,30 m.

Los tramos de vía doble están equipados con postes independientes situados frente a frente en un plano perpendicular a los ejes de las vías, situados a 3,23 m del eje de vía, midiendo esta distancia desde el eje del poste. De forma excepcional se admiten distancias de 3,05 m. En viaductos, dependiendo de las distancias elegidas entre sus pilares, la distancia entre postes puede variar entre 50 y 60 m.

Los macizos cilíndricos se utilizan en terreno normal con postes sencillos. Su diámetro es de 0.75 m y su profundidad varia de 1.70 a 3.00 m. Los macizos prismáticos pueden usarse para cualquier tipo de poste y en cualquier tipo de terreno, normal o poco consistente. Los postes de anclaje de seccionamiento llevarán un macizo de asiento de contrapesos a la máxima temperatura (80°C).

Los equipos de regulación se montan, normalmente, cada 1.200 m instalando un equipo tensor para cada conductor en cada extremo del cantón de regulación. En caso de necesidad se puede alargar el cantón hasta 1.400 m, particularmente en túneles en donde la variación de temperatura es pequeña.

Cuando la longitud del cantón es inferior a 700 m no se coloca tensor más que en un lado del cantón, siendo el otro de punto fijo.

El sustentador se inmoviliza en la ménsula situada sensiblemente en el centro de la distancia entre los equipos tensores, mediante un cable igual al del sustentador anclado en los postes adyacentes. El hilo de contacto queda sujeto únicamente por las péndolas.

Los seccionamientos de lámina de aire se realizan en 4 vanos, con eje, en las vías principales, y en los cambios y vías secundarias en 3 vanos.

Las condiciones geométricas para el dimensionamiento de la longitud de la zona neutra de separación de fases, son las siguientes:

- Longitud eficaz mayor que la de los pantógrafos combinados eléctricamente para que no se produzca un puente entre distintas fases.
- En cada composición de tren, la distancia entre dos pantógrafos no combinados eléctricamente que toque la catenaria debe ser mayor que la longitud eficaz, para que la sección de protección en ambos lados no quede unida por el patín de cada pantógrafo.
- Todos los conductores se anclan separadamente y llevan un tirante de anclaje.

4.3.2.2 Alimentación y conexiones

Los feeder negativos van situados sobre una cruceta que los aleja del poste en dirección al campo y van suspendidos de la misma, mediante una cadena de elementos de aisladores.

Los seccionadores son de apertura vertical. Se montan, bien en los pórticos de salida de subestaciones y puestos de alimentación con autotransformador o en soportes independientes. En los seccionamientos de lámina de aire los seccionadores se montan en el eje de seccionamiento y se abren y cierran con interruptores.

4.3.2.3 Agujas

En las agujas se evita el ataque lateral del pantógrafo a la catenaria, elevándola y no permitiéndola apoyar hasta que su eje no se encuentre sobre el pantógrafo. Esto se consigue mediante el empleo de una catenaria auxiliar que va haciendo seccionamientos, primero con una catenaria y luego con otra.

Para poder montar las catenarias en la zona de agujas es necesario montar pórticos rígidos de los cuales se suspenden silletas a las que se fijan las ménsulas precisas para el montaje de las agujas.

4.3.2.4 Protecciones y conexiones al carril

Una de las cuestiones de vital importancia en estas instalaciones, debido a la elevada tensión que se maneja, es la seguridad de los usuarios y del personal de explotación.

Igualmente, la propia instalación de la electrificación y las instalaciones cercanas deben protegerse: las primeras contra los fenómenos eléctricos atmosféricos, y la segunda contra las corrientes vagabundas.

En una instalación de corriente alterna de 25 kV aparecen efectos de inducción y de resonancia, que no se presentan en corriente continua, que pueden provocar corrientes de importancia en puntos no deseados como son las armaduras de las obras de fábrica y de los túneles.

Para reducir al mínimo todos estos riesgos se crea una placa equipotencial a lo largo de toda la instalación a la cual irán conectados todos los elementos metálicos conductores no activos de la instalación.

Uniendo las cabezas de todos los postes de cada lado de la instalación va un cable de guarda. Este cable, tanto de un lado como de otro, se conecta al cable colector de tierra, normalmente cada 1,5 km.

Todos los puntos centrales de juntas inductivas o condensadores de las secciones de separación de frecuencia de señalización van conectados al cable de guarda y al cable colector.

Las obras de fábrica dejan en el exterior del hormigón una placa metálica a la cual se ha soldado un redondo que conecta eléctricamente, mediante soldadura, todas las armaduras del hormigón. Esta placa se conecta al cable de tierra.

En las alimentaciones a la catenaria desde un autotransformador, el punto central del mismo se conecta al carril, tiene una tierra independiente y se conecta, además al cable colector de tierra.

En los túneles se siguen las mismas normas de las obras de fábrica. A su entrada se anclan los cables de guarda conectándolos al colector de tierra, el cual pasa a lo largo del túnel por debajo de la canaleta de comunicaciones.

Al cable colector se conectan también todas las tierras de señalización, comunicaciones, etc., así como los soportes aislados, las vallas de protección, y en general todas las masas metálicas no sometidas a tensión por razones de su función.

Se protegen especialmente la maniobra de seccionadores, conectando el poste a una rejilla sobre la que se sitúa al operador. También es importante la conexión a tierra de las viseras de los pasos superiores. El objeto de esta medida es hacer funcionar los extrarrápidos de las subestaciones, en caso de perforación o fuga de los aisladores, pues además está la acción electrolítica destructora en el acero de las armaduras.

4.3.2.5 Subestaciones de alimentación principales

Su espaciamiento es de unos 70 km. Se localizan al borde de las vías férreas, lejos de los haces importantes de vías y de los túneles, lo más cerca posible de la red viaria existente con la consecuente minimización de expropiaciones y lo más cerca posible de las líneas de A.T. existentes.

Se alimentan con tensión de red "normal" (220 V). Aquellas importantes en cuanto a la seguridad se alimentan con energía "asegurada" (tensión continua de 60 V).

La alimentación con tensión de red normal (220 V) se realiza mediante un transformador en seco instalado en la sección de 25 kV, con una potencia aproximada de 30 kVA. La energía asegurada se genera mediante rectificadores y baterías. Para el funcionamiento seguro y fiable de una subestación tiene gran importancia la disponibilidad de tensión auxiliar y de mando. Es por ello por lo que para aumentar la disponibilidad de los aparatos rectificadores deben existir por duplicado.

Caso de fallar la tensión normal de red, la batería de 60 V está en condiciones de mantener las funciones más importantes de mando y control durante 6 u 8 horas.

El equipo de cada subestación es el siguiente:

- 2 llegadas de líneas trifásicas.
- 1 Juego de barras generales trifásicas.
- 2 Campos de transformadores 2 x 25 kV.
- 1 Juego de barras generales de 2 x 25 kV.
- 4 Campos de salidas de 2 x 25 kV.

- 2 Transformadores de servicios auxiliares.

4.3.2.6 *Puestos de seccionamiento y/o acoplamiento*

Por necesidades de mantenimiento, protección y seccionamiento, se instalan distintos puestos de seccionamiento y acoplamiento espaciados 10 km.

Todos estos equipos de transformación y maniobra están instalados a la intemperie, bien en espacios cercados cercanos a las vías, o bien sobre pórticos elevados cuando el número de equipos es reducido.

Todos los puestos donde se instalan autotransformadores disponen de un pequeño edificio para contener los equipos de mando y control. Los puntos de acoplamiento deben estar situados en los mismos puntos de separación de fases.

4.3.2.7 *Acometidas de energía*

Para poder alimentar a las subestaciones de tracción ferroviaria situadas a lo largo del trazado es necesario realizar acometidas de energía de la red eléctrica nacional.

En las mencionadas subestaciones se realiza la transformación de tensión de la línea de suministro a la necesaria para la catenaria, es decir, a 50 kV/50 Hz.

La introducción de los nuevos posicionamientos mantiene las líneas de transporte de la red equilibradas ($\pm 2\%$ en cortos periodos de tiempo, y $\pm 1,5\%$ de forma continuada).

Tal como se ha indicado anteriormente, la línea es de 2 x 25, con 70 km de separación entre subestaciones y alimentación a 400 kV.

4.3.3 Instalaciones de seguridad y comunicaciones

Los Sistemas de Protección del tren (sistemas ERTMS/ETCS en sus niveles 1 y 2 y ASFA) supervisan la marcha segura del mismo de acuerdo con la información que recibe de los enclavamientos y con las condiciones propias del trazado de la línea.

4.3.3.1 *Enclavamientos electrónicos*

Los enclavamientos controlan que se realicen los itinerarios marcados de forma segura en los distintos puestos de explotación. Es el único sistema que contiene señalización lateral.

El sistema de señalización está formado por enclavamientos electrónicos y la instalación de los objetos de campo correspondientes:

- Circuitos de vía (detección de presencia).
- Accionamiento y posición de agujas.
- Señales de maniobra.

Toda la vía está equipada con circuitos de aviso de vía libre, para lo que se emplearán circuitos de vía de audiofrecuencia codificados, homologados por ADIF.

Dado que a velocidades superiores a 200 km/h los maquinistas no pueden estar seguros de la indicación que les presenta la señalización lateral luminosa convencional, existe un sistema de conducción automática con repetición en cabina de unas señales ficticias, no luminosas, que puedan servir al maquinista de orientación del lugar donde se encuentra.

Estos enclavamientos conocen el estado en el que se encuentran los desvíos, así como los circuitos de vía que controlan. Esta información es transmitida a la Central de Conducción automática, que conoce además la situación de todos los trenes, su tipo, características y su estado de velocidad y capacidad de frenado.

Las estaciones (de viajeros, apartaderos y banalizaciones) son las únicas que tienen señalización lateral luminosa de maniobra para movimientos de aguja. Los equipos de mando de todos estos elementos están contenidos en edificios técnicos en estos puestos de explotación. Además se incluyen casetas de conexión de los sistemas electrónicos de los circuitos de vía a lo largo del trazado cuando el alcance es insuficiente (unos 6.5 km).

Dada la necesaria automatización del sistema, los enclavamientos locales carecen de personal, y se operan a distancia desde el Puesto Central de Mando (Atocha). No obstante, son susceptibles de operación local si las necesidades de explotación lo requiriesen.

4.3.3.2 Sistema de conducción automática

El sistema de conducción automática se utiliza para la señalización en la cabina de conducción, y se basa en el intercambio de datos continuos entre los puestos fijos (equipos de intercambio de datos) y las unidades tractoras.

El sistema de conducción automática vigila la velocidad máxima admisible del tren y los procesos de frenado. Así se permite que dos trenes circulen seguidos separados únicamente por su distancia de frenado (más la longitud de un circuito de vía como mucho, caso de que no se pueda invadir un circuito de vía ocupado previamente); si el tren precedente aminora la marcha, el que le sigue lo hará en la misma proporción, sin activar el mecanismo de frenado de emergencia.

Sus prestaciones son las siguientes:

- Apertura automática de puertas.
- Control de disyuntores y pantógrafos.
- Corrección del deslizamiento de ruedas.
- Curva de frenado particularizada.
- Regulación del proceso de frenado.
- Sensibilidad en el autoposicionamiento.
- Detección de averías en su propio sistema.
- Marcha automática.
- Marcha económica.
- Parada de emergencia en vía contraria.
- Punteo del frenado de emergencia de pasajeros.
- Tomar determinadas acciones en circulación en túnel.
- Vista eléctrica.
- Redundancia del sistema.

Figura 10: Pantallas Centro Control de RENFE



Fuente: Página web de RENFE

4.3.3.3 *Suministro de energía*

Las instalaciones de seguridad y comunicaciones en los puestos de explotación necesitan un suministro de energía eléctrica de alta disponibilidad. Por ello, cada uno de los puestos está equipado con una fuente de alimentación redundante.

4.3.3.4 *Canalizaciones de telecomunicaciones*

El soporte físico del sistema está constituido por cables de fibra óptica, tendidos cada uno a un lado de la plataforma en sendas canaletas, de forma que se facilita su inspección y mantenimiento. A efectos de planificación se consideran cruces de vía cada 300 m.

Se colocan canaletas prefabricadas y no por canalización debido a que se dispone de espacio suficiente en la plataforma y además no se corta el drenaje. Las canaletas son más accesibles que las canalizaciones, aunque es más fácil su rotura y la entrada de objetos extraños. Además, la canalización exigiría una mayor excavación en desmontes.

Cada cable está formado por el número de fibras suficientes para que uno de ellos pueda operar todo el sistema, cuando el otro se encuentre fuera de servicio, por razones de redundancia, como en los sistemas de seguridad.

Los cables únicamente salen de las canaletas en los edificios técnicos, donde se acoplan a los equipos de transmisión en los que se transforman las señales luminosas en señales eléctricas; además se introduce en los cables la información que es preciso transmitir a otros lugares del trayecto.

Toda la red de comunicaciones está fuertemente mallada para garantizar la comunicación fiable y libre de perturbaciones. Mediante esta red se comunica (emitiendo o recibiendo) cualquier centro con el Puesto Central de Mando.

Como hay equipamiento que emite o precisa datos y que puede no estar localizado en el interior de estos edificios técnicos, se colocan cables múltiples de cobre convencionales que facilitan las comunicaciones dispersas para su concentración en el sistema PCM.

4.3.3.5 *Sistemas de audio y vídeo*

Las señales de audio y vídeo se digitalizan y se envían mediante un sistema de modulación por impulsos codificados a lo largo de toda la línea.

El control del servicio exige vías de comunicación entre todos los agentes de servicio. Por ello, todos los trenes están equipados con telefonía tren-tierra. Los jefes de circulación de la central de control deberán poder comunicarse en todo momento con cualquier maquinista por medio de llamadas selectivas.

Se incluyen los siguientes:

- Sistema de supervisión y vigilancia: detección de caída de objetos, cajas calientes, estaciones meteorológicas, video vigilancia, detección de intrusión, etc.
- Sistema de Regulación Central que tiene como objetivo la optimización de la explotación global de la línea.
- Sistema de Información a los viajeros que proporciona en tiempo real la información (próximo tren, estimación del tiempo para la llegada / parada / salida, vía de estacionamiento, tiempos de retraso, etc.).

4.3.4 Instalaciones de mantenimiento del material rodante

Son espacios físicos donde permanecen los trenes mientras se efectúan los mantenimientos requeridos. Sus características físicas son de 205 m de longitud y 7,5 m de anchura, con la vía centrada en él, dotada de foso triple o suelo rebajado en toda su longitud y electrificada. Están dotados de alumbrado de fosos, suministro de aire comprimido y corriente eléctrica a 220 V *ca*. 389 V *ca* y 24 V *cc*.

El estudio de las necesidades de mantenimiento del material determina la capacidad y situación de las instalaciones precisas para permitir el mantenimiento del parque previsto.

Se parte para ello del esquema de necesidades de mantenimiento, del parque previsto y de su recorrido anual. En el esquema de necesidades de mantenimiento se prevén las operaciones de taller y las revisiones e inspecciones a realizar en las bases de mantenimiento. Esos dos tipos de instalaciones son distintas debido a los diferentes equipos e instalaciones que precisan.

4.3.4.1 *Talleres*

Los puestos están dotados de puentes grúa específicos situados para la atención de los vehículos motores, plataformas para acceso al techo, utillaje específico para sustitución de conjuntos, etc. Además, dispondrán de tornos de ejes, gatos de levante, bajabogies, bancos de prueba de subconjuntos del tren, etc...

Figura 11: Base Nertus S-103

Requieren medios de elevación y transporte importantes, áreas de reparación y maquinaria especializada e importante superficie para almacén. Su situación respecto de las cabeceras de la línea no es decisiva ya que la frecuencia con que se desplaza el material a ellos es baja. Por razones de rentabilidad se explotan en doble turno y se dotan de sistemas de enclavamiento y maniobra de agujas que permita la maniobra interna de forma segura, autónoma y eficaz.



Fuente: pag. web Nertus

4.3.4.2 *Bases*

Los puestos están dotados de instalación automática de vaciado y limpieza de WC, puentes grúas-elevadores específicos para pantógrafos, plataformas de acceso al techo adecuadas al material mantenido y al tipo de operación realizado, etc. Además, tienen equipos comunes a todos los puestos, como instalaciones automáticas de inspección de perfil y fisuras de ruedas, de lavado exterior, etc.

Figura 12: Base RENFE



Fuente: pag web RENFE

Requieren instalaciones automatizadas para las operaciones de limpieza, revisión y sustitución más frecuentes y deben estar diseñadas para trabajar de noche de manera permanente. Su situación respecto de las cabeceras de servicio es decisiva, debiendo estar unidas ambas por vía o vías específicas y exclusivas para asegurar el traslado del material entre ellas de manera ágil, rápida e independiente de otras necesidades de la explotación. Están dotadas de medios de maniobra de agujas y enclavamiento que permiten la maniobra interna segura y eficaz.

4.3.5 Tren Serie 103 de RENFE

Este tren, fabricado por Siemens, presta servicio en la línea de alta velocidad que une Madrid con Barcelona. Es un tren con tracción distribuida, lo que significa que tiene bogies con tracción repartidos por todo el tren, consiguiendo de este modo un mejor aprovechamiento del espacio del tren (supone un 20 por ciento más de espacio que otros trenes de iguales dimensiones), mejor aprovechamiento de la energía y mayor aceleración.

El tren consta en realidad de dos semitrenes idénticos de 4 coches unidos permanentemente. La capacidad es de 404 pasajeros divididos en 3 clases (Turista, Preferente y Club), pero al poder ir 2 unidades completas en mando múltiple se puede alcanzar una capacidad de 808 pasajeros. En los coches extremos hay unas mamparas fototrópicas que permiten a los pasajeros tener la misma visión que los maquinistas. Estas mamparas se pueden hacer más o menos opacas utilizando tensión eléctrica, con lo que, de este modo, evitan que los pasajeros molesten al maquinista.

La longitud total del tren es de 200 m y su altura es de 3,89 m

El peso sin carga en orden de la marcha es de 425 t y su carga por eje de 15 t.

4.3.5.1 *Caja*

Toda la estructura es de aluminio. La Longitud de coches extremos es de 25.675 mm y de coches intermedios de 24.775 mm. Su anchura es 2.950 mm.

La composición completa es de 8 coches y su distribución interior se realiza en torno a un pasillo central, excepto en el coche cafetería que tiene un interior con una barra y que utiliza una parte del coche para ofrecer otros servicios, como la sala de atención al cliente y salas para el personal del tren y para el equipaje facturado. Las puertas de acceso, en los extremos de cada coche, dan paso a salas de viajeros diáfnas con asientos distribuidos a ambos lados del pasillo.

En el primer coche se sitúa la cabina de conducción y los asientos de Clase Club, con una sala de reuniones entorno a una mesa de siete plaza; el segundo y tercer coches son de Clase Preferente y el cuarto es el Coche Cafetería. Después están situados los cuatro Coches Turista, en los que en la última posición existe otro espacio, como la sala de reuniones de Club, situada tras la cabina de conducción.

4.3.5.2 *Sistema de tracción y auxiliar*

La particularidad fundamental del tren es su tracción distribuida, que reparte los equipos de tracción y auxiliares bajo los bastidores de la composición y a lo largo de toda ella. Es por ello que en este tren no existen las cabezas tractoras tradicionales, que son sustituidos por dos unidades de tracción de cuatro coches cada una o semitrenes.

Figura 13: AVE S-103 RENFE



Fuente: Pag web RENFE

Figura 14: Coche Clase Club AVE S-103



Fuente: Pag web RENFE

Todo el equipo eléctrico se encuentra distribuido a lo largo del tren, con un 50 por ciento de los ejes motorizados, lo que favorece y posibilita unas mejores condiciones de adherencia y aceleración, a la vez que reparte la masa por eje, unas quince toneladas por cada uno, de forma que esta baja masa reduce la agresividad sobre la vía y los costes de mantenimiento de la infraestructura.



Figura 15: AVE S-103 RENFE

Fuente: Pag web RENFE

La tracción distribuida permite que el tren circule tanto con ocho coches como con cuatro. La distribución de las masas no se modifica y aunque la potencia se reduzca a la mitad, permanece motorizado el 50 por ciento de los ejes, existiendo redundancia en caso de fallo de los equipos.

Cada motor, situado en los coches 1, 3, 6 y 8, procura una potencia de 550 kW y va instalado en el propio bastidor del bogie, colocado de forma paralela al eje sobre el que actúa y acoplado por medio de un conjunto flexible. La distribución de los equipos de tracción en mitad de los ejes supone que los esfuerzos de tracción se transmiten al carril de una forma más segura y eficaz, en condiciones de baja adherencia.

Los 16 motores de que consta la rama son trifásicos asíncronos, garantizan tiempos de utilización más largos y precisan de bajo mantenimiento.

Todas las funciones del tren están gestionadas por un sistema de control integrado que recoge, trata y transmite los datos, facilitando así el mantenimiento, ya que basta una consulta al equipo para obtener todos los datos de funcionamiento e incidencias del tren. Estos datos pueden transmitirse por telefonía móvil GSM al centro de mantenimiento, de forma que se pueden prever, con antelación, las tareas a realizar en el mantenimiento o reparación del tren.

4.3.5.3 Bogies y frenos

Los bogies contribuyen a un óptimo comportamiento sobre la vía, proporcionando la máxima estabilidad así como un excelente confort de marcha. Han sido especialmente diseñados para circular a alta velocidad y gran rodaje, por medio de:

- Suspensión primaria por muelles helicoidales.
- Suspensión secundaria neumática.
- Sistemas de sensores que avisan de cualquier problema de funcionamiento.
- Dispositivos antibalanceo.
- Soporte de areneros en los bogies motores.

El primero de los coches con cabina incorpora cuatro motores, uno en cada uno de los dos ejes y de los dos bogies, que son alimentados de forma independiente por un único convertidor. En el segundo coche, los dos bogies son portadores y en él se sitúan los transformadores y reactancias de entrada. En el tercer coche los cuatro bogies son motorizados y lleva un único convertidor. El cuarto coche tiene todos los bogies portadores y bajo el bastidor lleva el resto de los equipos auxiliares de un medio tren. En los cuatro coches restantes del otro semitren se repite la misma configuración que en los cuatro primeros. Las antenas de los sistemas de control ERTMS, LZB y Asfa se sitúan en los bogies extremos.

Figura 16: AVE S-103



Fuente: Pag web RENFE

Las unidades de tracción son independientes, y gracias a ello, si se produce un fallo en alguna unidad, ésta puede desconectarse sin influir sobre las restantes, posibilitando así la llegada a destino con un 75 por ciento de potencia de tracción y frenado.

Tiene gran potencia de frenado, gracias a un freno eléctrico que permite conmutar automáticamente entre el régimen de frenado de recuperación y el régimen de frenado reostático. Se utiliza preferentemente el frenado de recuperación, aunque en caso de que la red no pueda absorber la energía de frenado eléctrico de los motores de tracción, se conmuta progresivamente al frenado eléctrico reostático.

4.3.5.4 Enganches

El enganche es de tipo automático Schafenberg y permite que los trenes circulen en doble composición y es compatible con las locomotoras de la serie 252 y los Ave de la serie 100.

4.3.5.5 Sistema de control

Está equipado con el sistema de señalización ERTMS niveles 1 y 2 con un sistema compatible con el LZB y que le permitirá circular por la línea Madrid-Sevilla, así como con el ASFA como sistema de respaldo, utilizado en ambos corredores. En el sistema de señalización ERTMS nivel 2 todas las funciones del tren están gestionadas por un sistema integrado que recoge, trata y transmite los datos, lo que permite simplificar y acelerar las tareas de mantenimiento, y obtener todos los datos de funcionamiento e incidencias del tren. Estos datos se transmiten vía telefonía móvil GSM al centro de mantenimiento, de modo que se puedan prever con antelación las tareas a realizar para su mantenimiento o reparación.

4.3.6 Material Auxiliar

El parque auxiliar tiene como finalidad realizar funciones de auxilio y de mantenimiento de la línea. El recorrido efectuado por los trenes para realizar los servicios establecidos y los esquemas de mantenimiento de cada tipo de material, determina el número de intervenciones de mantenimiento a efectuar.

El esquema de mantenimiento está formado por las operaciones siguientes:

- Inspección de servicio, realizada cada 2.000 km, se efectúa en la Base de mantenimiento y es la operación de menor entidad. Inmoviliza el material durante 4 horas aproximadamente.
- Inspección de confort y seguridad, realizada también en la Base de mantenimiento cada 16.000 km. Inmoviliza el material una jornada.
- Reparaciones limitadas, de nivel 1 y de nivel 2. Han de realizarse en Taller e inmovilizan el material 1/2, una y dos semanas respectivamente, y se producen cada 112.500 km, 225.000 km y 450.000 km respectivamente.

Dado que los servicios previstos son diurnos en su mayor parte, se establece que las operaciones de mantenimiento más frecuente y de menor entidad se efectúen principalmente por la noche y en los períodos diurnos de menor utilización de trenes, por lo que para esas operaciones no se requiere parque adicional de trenes.

El resto de las operaciones de mantenimiento (inspecciones de confort, reparaciones limitadas y reparaciones de nivel 1 y nivel 2), mucho menos frecuentes y de mayor entidad, requieren a priori

prever un incremento del parque debido a ellas, ya que precisan una jornada o más para su realización y no son, en consecuencia, compatibles con el parque de trenes en línea.

Para reducir el parque necesario para el mantenimiento se realizan dos turnos en los talleres para las operaciones ligadas a las reparaciones limitadas.

Los tipos y las frecuencias de las intervenciones anteriores determinan los siguientes elementos:

- Tren de socorro. Dotado de dos vagones con grúa automóvil y coche taller. Precisa del auxilio de una locomotora diésel como mínimo. Este tren se utiliza en contadas ocasiones, en caso de descarriles o accidentes.
- Locomotoras diésel. Se precisan para las operaciones de mantenimiento de vía, remolque de trenes en caso de incidencia el suministro de energía, y remolque del tren de socorro.

El número de locomotoras necesario por las necesidades de mantenimiento de vía (trenes de balasto), son proporcionales a la longitud de la línea o al número de Bases de mantenimiento de vía previstas.

En ambos extremos de la línea debe existir otra para asegurar la actuación rápida en caso de corte de corriente y otra para el remolque del tren de socorro.

Para asegurar la disponibilidad del parque diésel anterior, su mantenimiento y cubrir posibles accidentes, se considera una locomotora de reserva.

- Locomotoras eléctricas. Son necesarias para abrir la línea antes de la primera circulación comercial y después de los trabajos nocturnos de mantenimiento de vía y es imprescindible que sean eléctricas para asegurar el correcto funcionamiento de la catenaria.

La cantidad necesaria de locomotoras depende del tiempo disponible para la apertura de línea y de la velocidad de la locomotora más una de reserva de parque.

4.4 Características técnicas del Hyperloop

El sistema Hyperloop consta de un tubo a baja presión con cápsulas, denominadas "vainas" que circulan por su interior sustentadas sobre un cojín de aire o por levitación magnética. Las vainas son aceleradas mediante un acelerador lineal magnético instalado en las zonas de las estaciones.

El tubo está hecho de acero. El sistema tiene dos tubos paralelos para poder desplazar las vainas en ambas direcciones. La parte superior de los tubos se cubre con paneles solares a fin de que estos proporcionen energía al sistema.

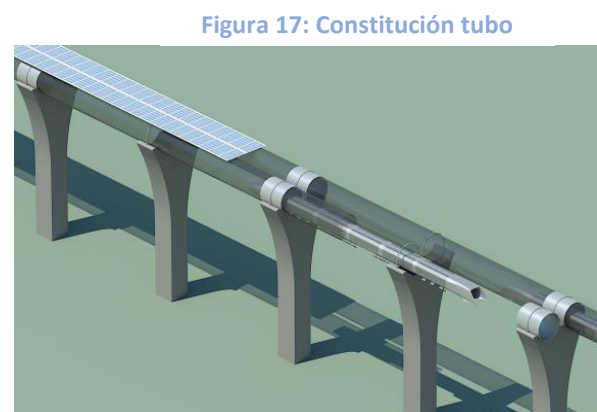


Figura 17: Constitución tubo

Fuente: "HYPERLOOP Alpha"

Al ser las velocidades tan altas, no es factible usar un sistema de eje y rueda debido a la tremenda fricción y a la inestabilidad dinámica. Existen dos soluciones para llegar a dicha velocidad:

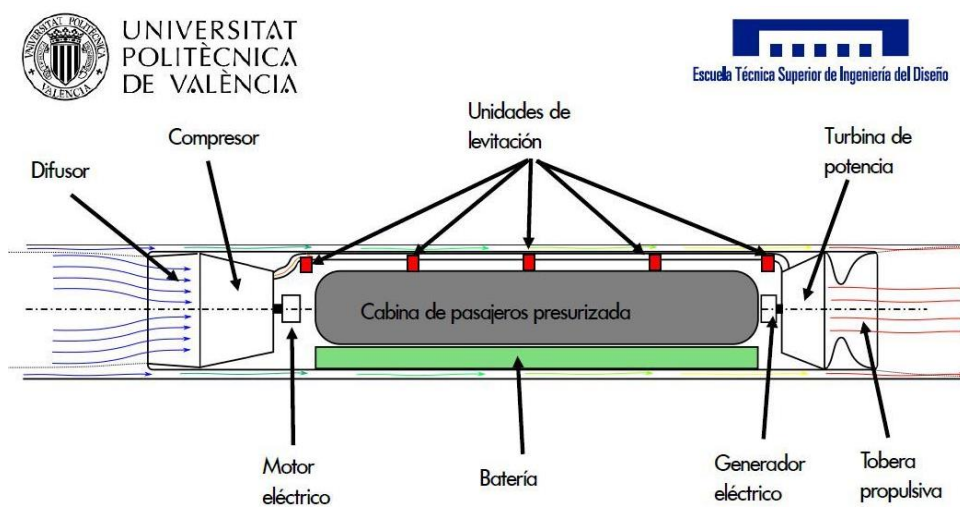
- Levitación magnética.

En la actualidad existen trenes de levitación magnética, pero su elevado coste hace que su uso esté todavía muy restringido por ser excesivamente costoso.

El promotor de la idea del Hyperloop, Elon Musk, convocó el año pasado un concurso de ideas a nivel mundial para la optimización del diseño de la vaina y de su construcción, denominado “Hyperloop Pod Competition”, cuyo desenlace final (después de haber contado con diferentes fases de descartes de ideas) ha tenido lugar en febrero de este año en la Universidad Texas A&M.

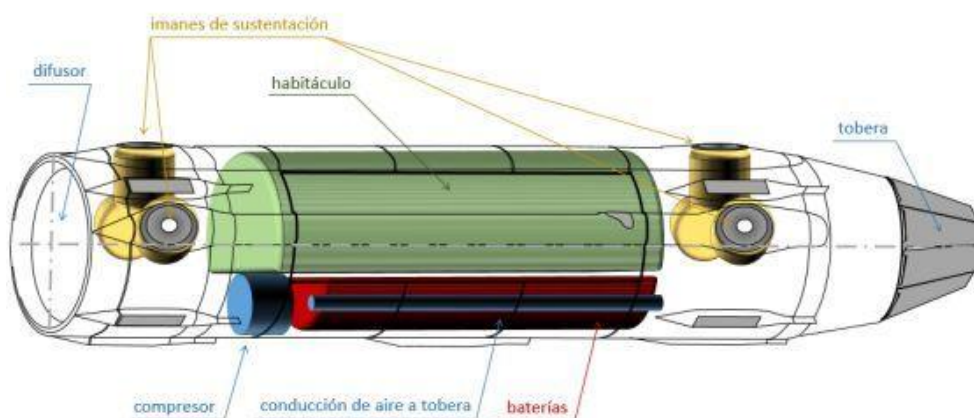
El ganador del “Hyperloop Pod Competition” en las categorías Diseño General y Propulsión fue la universidad politécnica de Valencia (UPV) con un diseño basado en el principio de levitación magnética. A la hora de abordar el problema de la ausencia de fricción, la UPV realizó su diseño sin raíl inferior, lo que supone un ahorro de hasta un 30% en los costes de construcción del tubo. Su revolucionario sistema de levitación funciona mediante atracción de la parte superior de la vaina según el esquema adjunto.

Figura 18: Cápsula diseñada por UPV



Fuente: Pag web El Mundo

Figura 19: Cápsula diseñada por UPV



Fuente: Pag web El Mundo

Su diseño integra todos los sistemas dentro de la vaina, por lo que no hace falta invertir en raíles. El propio tubo de acero sirve para crear la acción de campo magnético. En este caso la vaina es más cara pero el tubo es más barato.

En cuanto al subsistema de propulsión, funciona de forma similar al motor de un avión. El aire entra por la parte delantera hacia un compresor, ya que en el centro tenemos que reducir el espacio del tubo para que haya espacio para los pasajeros (en un avión este paso no es necesario). Así, el aire comprimido pasa por encima de la cabina y al llegar a la parte trasera se expande en la tobera, recuperando la presión normal y produciendo energía en la turbina.

Figura 20: Cápsula diseñada por

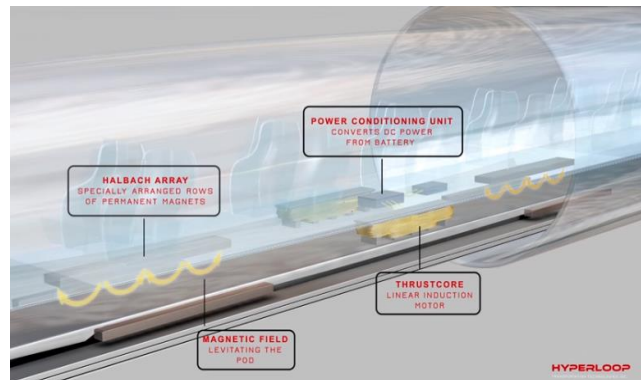


Fuente: Pag web El Mundo

- Suspensión sobre rodamientos de aire, que es la solución inicial para el Hyperloop. Los rodamientos de aire ofrecen estabilidad y una resistencia al avance muy baja, a un coste inferior al de levitación magnética, mediante el aprovechamiento de la atmósfera en el tubo.

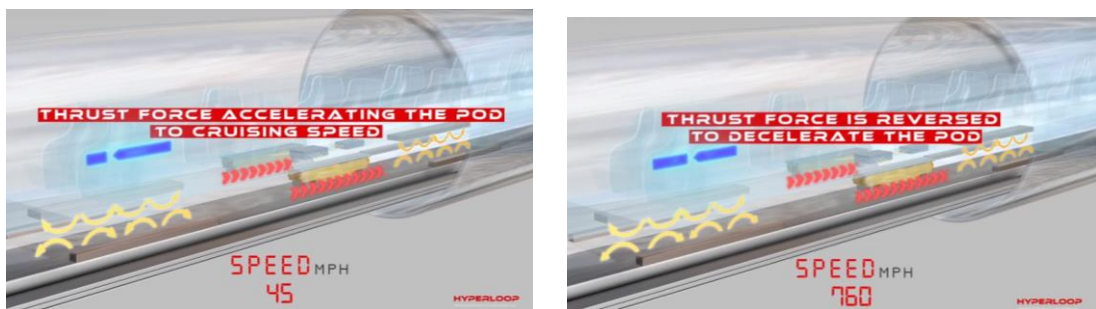
Las vainas se sostienen mediante rodamientos de aire que funcionan usando una reserva de aire comprimido y sustentación aerodinámica. El compresor de a bordo permite a la vaina surcar a gran velocidad el estrecho tubo y sin el problema del aire que viaja entre la cápsula y las paredes del tubo, que haría que se acumulara en la parte frontal de la cápsula y aumentase la resistencia al avance. El problema se evita al aspirar aire, comprimirlo y transmitirlo a los puntos idóneos a través de un conducto de la cápsula. El compresor de a bordo también suministra aire a los rodamientos de aire que soportan el peso de la vaina durante todo el viaje.

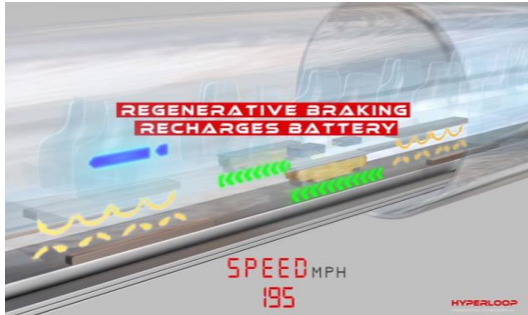
Figura 21: Sistema de suspensión sobre



Fuente: <http://es.gizmodo.com/flotando-a-760-km-por-hora-las-capsulas-de-hyperloop-y-1775704965>

Figura 22: Sistema de suspensión sobre rodamientos

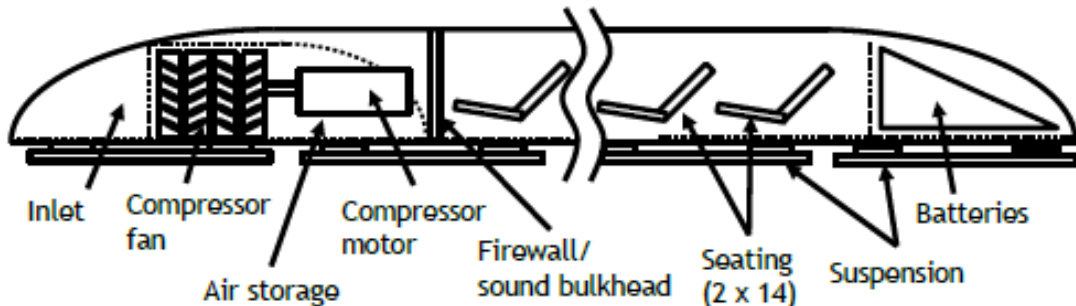




Fuente: <http://es.gizmodo.com/flotando-a-760-km-por-hora-las-capsulas-de-hyperloop-y-1775704965>

Así, el ganador del “Hyperloop Pod Competition” en la categoría de construcción ha sido el MIT, con una vaina similar a la ideada en el documento *Hyperloop Alpha* confeccionada en aluminio, fibra de carbono y policarbonato cuyo peso no supera los 250 kilos, y para su movimiento en levitación emplea dos líneas de imanes de neodimio, con veinte en cada una.

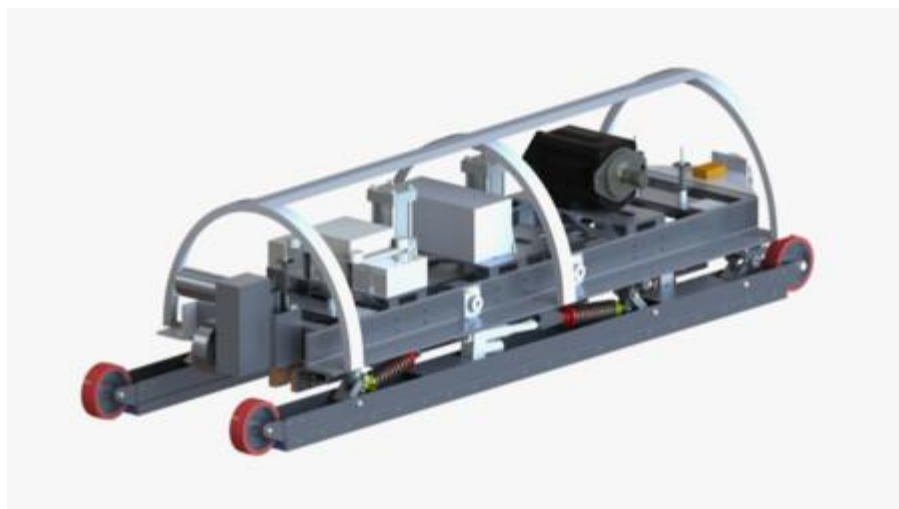
Figura 23: Cápsula documento "Hyperloop Alpha"



Fuente: "Hyperloop Alpha"

Para las bajas velocidades como la llegada y salida de estaciones, hay un sistema de ruedas en las que puede descansar la cápsula. El sistema de frenado es hidráulico, capaz de parar la cápsula con una fuerza 2,5G.

Figura 24: Cápsula diseñada por MIT



Fuente: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/02/160204_tecnologia_hyperloop_prototipo_ganador_transporte_futurista_lb

Con el fin de propulsar el vehículo a la velocidad requerida, se usa un avanzado sistema de aceleradores lineales, construido a lo largo del tubo en varios lugares para acelerar las vainas. El elemento móvil (rotor) del motor eléctrico de inducción lineal se encuentra en el vehículo, mientras que el tubo incorpora el elemento fijo del motor (estátor). El estátor está colocado en la parte inferior del tubo a lo largo de los tramos de varios kilómetros dedicados a acelerar y desacelerar las vainas.

El motor de inducción lineal, gracias al campo magnético que tiene en su interior, se encarga de acelerar y desacelerar la vaina en los momentos necesarios del trayecto. Acelera la vaina de 0 a 480 kilómetros por hora para un recorrido a velocidad relativamente baja en zonas urbanas. Acelera la vaina de 480 a 1.220 kilómetros por hora, a un máximo de 1g (aunque para comodidad de los pasajeros solo llegaría a 0,5g). Y desacelera de igual modo. La vaina cubre la mayor parte de la distancia sin tener el motor en marcha, gracias a la elevadísima velocidad que alcanza en el acelerón inicial por el tramo principal. No se necesita propulsión durante más del 90 por ciento del viaje.

Vencer la resistencia del aire a la enorme velocidad de las vainas exigiría un altísimo consumo de energía propulsora y agregar características de diseño que encarecerían demasiado al sistema. Es por ello que las vainas viajan por el tubo a presión reducida. La presión de trabajo del aire es de 100 pascales, lo cual reduce 1.000 veces la fuerza de resistencia al avance ejercida por el aire, con respecto a las condiciones reinantes en el exterior a nivel del mar.

Para conseguir dicha presión, en el interior del tubo se debe realizar el vacío, aunque se evita que sea un vacío extremo ya que son caros y difíciles de mantener en comparación con las soluciones técnicas que sólo usan una presión baja. Además, algunas de las características de diseño del Hyperloop no serían posibles en un vacío extremo.

Figura 25: Diseño futurista Hyperloop en



Fuente: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/02/160204_tecnologia_hyperloop_prototipo_ganador_transporte_futurista_lb

Al entrar y salir de las ciudades, donde sería más difícil mantener un trazado muy rectilíneo del tubo, las vainas viajan a una velocidad bastante más baja lo que evita que los pasajeros sientan un fuerte "tirón" con cada cambio de dirección. La vaina tiene características aerodinámicas para reducir la resistencia al avance ejercida por el aire, y cuenta con un compresor en la parte delantera para usar el que choca contra el vehículo para levitación y, en menor medida, para como complemento para la propulsión. Ante un vehículo que circula a la velocidad de un avión, por el interior de un tubo cerrado en el que además no se puede respirar, resulta comprensible que bastante gente pueda sentir aprensión a hacer un viaje en él. Por las especiales características del Hyperloop, sus medidas de seguridad incluyen algunas típicas de los aviones (mascarillas de oxígeno) y otras propias de los trenes (frenos de emergencia).

Si una vaina se detuviera por alguna razón dentro del tubo, las cápsulas delante de ella continuarían su viaje hacia su destino sin ningún problema. A las vainas detrás de ella se las haría desplegar automáticamente sus sistemas mecánicos de frenado de emergencia. Una vez que todas las cápsulas situadas detrás de la vaina parada se hubieran detenido con seguridad, circularían hasta un lugar

seguro usando ruedas desplegadas, a modo del tren de aterrizaje de un avión, accionadas por pequeños motores eléctricos presentes a bordo.

Todas las vainas irán equipadas con una reserva de aire lo bastante grande como para garantizar la seguridad de todos los pasajeros en el peor de los escenarios posibles.

Una despresurización pequeña del tubo es poco probable que afecte a las vainas o a los pasajeros del Hyperloop, y probablemente sería compensada mediante un aumento de la potencia de aspiración de aire. Cualquier fuga pequeña en el tubo podría ser reparada durante los trabajos de mantenimiento estándar. En el caso de una despresurización a gran escala, los sensores de presión situados a lo largo del tubo se comunicarían automáticamente con todas las vainas para que éstas desplegaran sus sistemas mecánicos de frenado de emergencia.

Consideramos al sistema como inmune al viento y la lluvia ya que al circular las vainas por el interior de un tubo, ni la lluvia ni el viento del exterior pueden actuar directamente sobre ellas. Como en todas las estructuras que se diseñan y construyen en España, las pilas que soportan los tubos tienen en cuenta la norma sismorresistente para resistir los movimientos generados por cualquier sismo y mantener al mismo tiempo un alineamiento aceptable del tubo. En cualquier caso, ante un terremoto severo se activarían por control remoto en las vainas su sistema de frenado de emergencia.

A continuación se indican los pesos relativos más representativos:

Tabla 9. Características técnicas vaina Hyperloop

Parámetro	Valor	Observaciones
Peso total vaina <i>Hyperloop Alpha</i> (kg)	2.500	
Peso de la vaina estructura MIT (kg)	250	
Peso del motor y aparataje electrónico (kg)	169	
Peso de las baterías del motor (kg)	1.500	
Peso de las baterías de la vaina (kg)	2.500	
Levitación magnética sobre el suelo del tubo (mm)	De 0,5 a 1,3	
Peso sistema de apoyo neumático sistema rodamientos de aire (kg)	2.800	Incluye compresores, tanque de aire, fontanería, suspensión y superficies de apoyo.
Peso del sistema de propulsión (kg)	1.300	Incluye sistema de frenos de emergencia.

Fuente: Documento "Alpha"

La seguridad de los pasajeros y de la infraestructura es de suma importancia por lo que los controles de seguridad se realizan de manera similar a los aeropuertos en zonas habilitadas al uso. Dado que tiempo de viaje es muy corto y el éxito de este sistema de transporte se basa en una frecuencia media de tráfico cada 2 minutos, las estaciones se focalizan en el área de tránsito (proceso de embarque y

Figura 26: Detalle unión estructura y



Fuente: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/02/160204_tecnologia_hyperloop_prototipo_ganador_transporte_futurista_lb

desembarque) para un perfil de desplazamiento urbano, no vacacional (límite de equipaje de 2 bultos por persona, similar a los compartimientos en aviones de pasajeros).

Esta área es un gran espacio abierto para acoger a un flujo constante de pasajeros con hasta tres puntos con dos grandes cámaras de aire cada uno que son los puntos de entrada y salida de las vainas. Al llegar una vaina entra en la esclusa de aire de entrada, donde la presión se iguala con la estación, antes de ser liberada en la zona de tránsito. Las puertas de la vaina se abren automáticamente lo que permite a los pasajeros que desembarquen. El equipaje se descarga automáticamente separado de los pasajeros de manera que la recuperación de equipaje no interfiere con el giro de vuelta de la vaina.

Una vez desocupada, la vaina se hace girar sobre una mesa giratoria y se alinea para la reentrada en el tubo. El equipaje se carga automáticamente mientras embarcan los siguientes pasajeros. Personal auxiliar realiza una comprobación de seguridad del cinturón de seguridad de cada pasajero antes de que la vaina inicia la salida. En este punto, la vaina se mueve hacia delante en la esclusa de aire de salida, donde la presión se baja hasta el nivel de funcionamiento de la Hyperloop para su salida. Este proceso de embarque y desembarque se realiza en paralelo con hasta tres vainas en cualquier momento.

5 Análisis de la Demanda de Tráfico

En el presente epígrafe se lleva a cabo la prognosis de tráfico tanto para el proyecto del AVE como para el proyecto del Hyperloop.

Al establecerse como punto de origen temporal del presente Estudio el año 1997, previo a la puesta en marcha en 2008 del tren de alta velocidad entre Madrid y Barcelona, se cuenta con datos reales de tráfico para el AVE durante el periodo 2008-2014. De esta forma, la demanda de tráfico correspondiente al AVE se basa en dichos datos históricos registrados, siendo necesario, a partir del año 2014, realizar estimaciones sobre la demanda futura.

Por su parte, la prognosis de demanda correspondiente al Hyperloop se desarrolla en base a un modelo de tráfico desarrollado para tal efecto y que cuenta principalmente con los siguientes inputs:

- Tráfico real registrado (2008-2014) en el corredor por los diferentes medios de transporte (tren, carretera -coche, autobús y moto- y avión).
- Previsiones de tráfico a futuro en el corredor por los diferentes medios de transporte.
- Magnitudes macroeconómicas relacionadas.
- Características propias del Hyperloop.

5.1 Demanda de tráfico registrada en el corredor entre 2008 y 2014

5.1.1 Estudios de demanda previos a la implantación del AVE

Previamente a la implantación del AVE en el corredor Madrid - Barcelona, se realizaron varios estudios con el fin de estimar la evolución de la demanda a futuro. A continuación se destacan tres de estos estudios:

5.1.1.1 *Estudio 1: Ministerio de Fomento (1997). Prognosis de demanda elaborada en el marco del estudio funcional del corredor Madrid-Barcelona*

Se trata de un Estudio desarrollado mediante la formulación de modelos de generación-distribución de viajes basados en modelos de tipo logit jerárquico multinomial. La modelización se basó en modelos diferentes para la movilidad obligada y la no obligada. Para la construcción de los modelos de transporte se utilizó el sistema MEPLAN que concibe el modelo como un grafo compuesto de nodos interconectados por arcos, que configuran la oferta disponible para las diferentes categorías de demanda consideradas.

La demanda estimada en el corredor en este Estudio 1 se muestra en la siguiente tabla. En el trayecto Madrid-Barcelona se estima una demanda del AVE de aproximadamente 2 millones de viajeros anuales para el año 2005, entendiendo este año como el primer año de actividad de la conexión entre Madrid y Barcelona a través de Alta Velocidad (la inauguración de la línea completa tendría lugar finalmente en el año 2008).

Tabla 10. Proyecciones de demanda en el corredor Madrid-Barcelona por modos. Año 2005

Trayectos – Medios	Coche	Bus	Avión	AVE	Total
Madrid - Barcelona	1.093.715	172.185	2.580.495	2.042.592	5.888.987
Madrid – Zaragoza	1.196.199	167.324	17.532	1.755.642	3.136.697
Madrid – Lleida	216.534	5.153	-	132.843	354.530
Madrid – Tarragona	440.558	31.417	9.146	220.071	701.192
Madrid – Girona	103.485	12.651	-	159.094	275.230
Zaragoza – Barcelona	1.555.883	246.212	-	1.845.283	3.647.378
Zaragoza – Lleida	779.139	38.329	-	318.449	1.135.917
Zaragoza – Tarragona	1.190.948	131.980	-	457.345	1.780.273
Zaragoza - Girona	211.019	16.534	-	40.019	267.572
Total por modos	6.787.480	821.785	2.607.173	6.971.338	17.187.776

Fuente: Ministerio de Fomento (1997)

5.1.1.2 Estudio 2: B. Guirao (2000)

Estudio que sigue un modelo secuencial ad-hoc para estimar la generación de tráfico inducido, así como una estimación del reparto modal en el que se emplearon tantos modelos logit como modos alternativos (avión, coche, autobús, ferrocarril convencional y AVE). Para la calibración de los modelos logit se emplearon datos provenientes del corredor Madrid-Sevilla con el objetivo de calcular el valor del tiempo.

En la siguiente tabla se presenta la demanda estimada para el año 2005 por este segundo Estudio, detallándose la procedencia modal de los viajeros, en función de tres escenarios basados en distintas hipótesis. En todos los escenarios el número de viajeros estimados varía en un rango entre los 2,2 y los 3 millones anuales.

Tabla 11. Demanda del AVE en la relación Madrid-Barcelona en el año 2005 según distintas hipótesis

Procedencia modal	Hipótesis 1		Hipótesis 2		Hipótesis 3	
	Viajeros	%	Viajeros	%	Viajeros	%
Avión	2.024.166	69	2.024.166	71	1.472.121	65
Coche	311.197	11	194.498	7	194.498	9
Ferrocarril	386.400	13	386.400	14	386.400	17
Autobús	27.000	1	27.000	1	27.000	1
Nuevos viajeros	201.237	7	217.936	8	169.081	8
Total	2.950.000	100	2.850.000	100	2.249.100	100

Fuente: B. Guirao (2000)

5.1.1.3 Estudio 3: A. López-Pita, F. Robusté (2005)

Se trata de un Estudio realizado a partir de un modelo de precio-tiempo y basado en un modelo gravitacional para la evaluación del tráfico generado. El modelo de precio-tiempo se basa en la asunción de que los pasajeros eligen entre los diferentes modos de transporte en función del valor asociado al tiempo, al coste y al tiempo de viaje de cada uno de ellos.

En el Estudio se realiza una estimación de los futuros usuarios de AVE en el corredor Madrid-Barcelona (alcanzando aproximadamente los 3,5 millones de viajeros anuales) y de su procedencia modal. Asimismo, se realiza una previsión sobre el reparto modal de viajeros entre el AVE y el avión:

Tabla 12. Reparto modal en el corredor Madrid-Barcelona

Medio transporte	Distribución tráfico
AVE	63,5%
Avión	36,5%

Fuente: López-Pita, F. Robusté (2005)

Tabla 13. Procedencia modal de los usuarios de AVE

Procedencia modal	Usuarios
Antes viajaban en avión	2.200.000
Antes viajaban en coche	360.000
Antes viajaban en tren convencional	570.000
Tráfico generado	350.000
Total	3.480.000

Fuente: López-Pita, F. Robusté (2005)

5.1.2 Demanda real registrada entre 2008 y 2014 para AVE y avión

En la siguiente tabla se presentan los datos reales del tráfico de pasajeros entre las ciudades de Madrid, Zaragoza y Barcelona, desde el año 2008 hasta el 2014, y para los medios de transporte de AVE y avión:

Tabla 14. Demanda real 2008-2014 AVE y avión para el corredor Madrid – Barcelona

Trayecto	Modo	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Madrid - Barcelona	AVE	2.109.943	2.670.407	2.597.435	2.545.907	2.688.502	3.070.184	3.442.607
	Avión	3.638.582	3.066.368	3.085.300	3.118.988	2.566.848	2.214.259	2.205.275
	Total	5.748.525	5.736.775	5.682.735	5.664.895	5.255.350	5.284.443	5.647.882
Madrid - Zaragoza	AVE	1.704.483	1.363.509	1.258.121	1.175.053	1.087.143	1.176.841	1.277.422
	Avión	33.137	19.992	21.880	667	0	381	140
	Total	1.737.620	1.383.501	1.280.001	1.175.720	1.087.143	1.177.222	1.277.562
Zaragoza - Barcelona	AVE	563.925	589.855	612.569	600.511	566.306	623.555	723.256

Trayecto	Modo	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
	Avión	154	260	161	113	72	39	150
	Total	564.079	590.115	612.730	600.624	566.378	623.594	723.406
Total		8.050.224	7.710.391	7.575.466	7.441.239	6.908.871	7.085.259	7.648.850

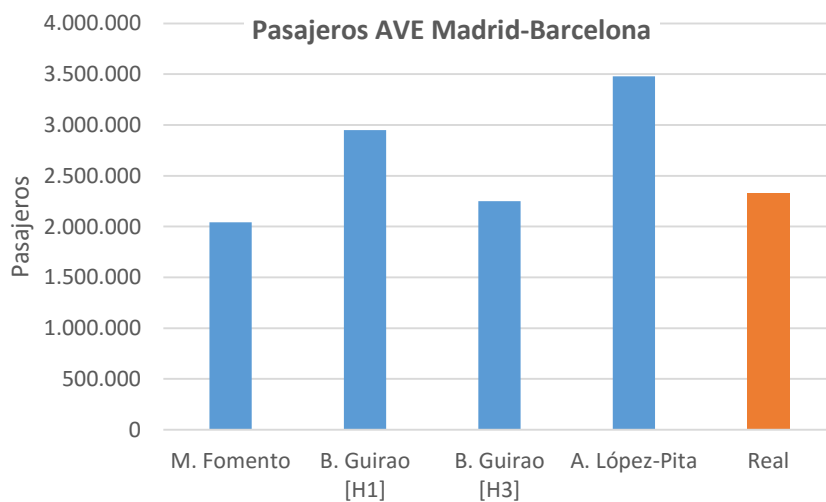
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del OTLE y del OFE-2014

Según se aprecia en la tabla anterior, aproximadamente el 75% de los viajeros del corredor realizan el trayecto con origen/ destino las dos principales ciudades, mientras que aproximadamente un 17% de los viajeros realizan el trayecto Madrid-Zaragoza y el 8% restante utilizan el trayecto Zaragoza-Barcelona.

Cabe destacar también que el avión tiene un peso importante en el trayecto Madrid-Barcelona, las dos ciudades más grandes y más alejadas del corredor, mientras que en el trayecto Madrid-Zaragoza y Zaragoza-Barcelona la participación del avión no es prácticamente significativa en comparación con el número de viajes en AVE.

Al contrastar los valores estimados por los tres estudios referidos con las cifras reales de utilización del AVE en el corredor Madrid-Barcelona tras su implantación, se observa que la demanda real se mantuvo dentro del rango de los valores predichos por los distintos estudios. En la siguiente ilustración se muestra la previsión de demanda de viajeros de AVE realizada por cada uno de los tres estudios para el corredor Madrid-Barcelona para su primer año de actividad en comparación con el valor real que se produjo en el año 2008.

Figura 27. Comparación estudios de demanda previos con demanda real en el primer año de operación



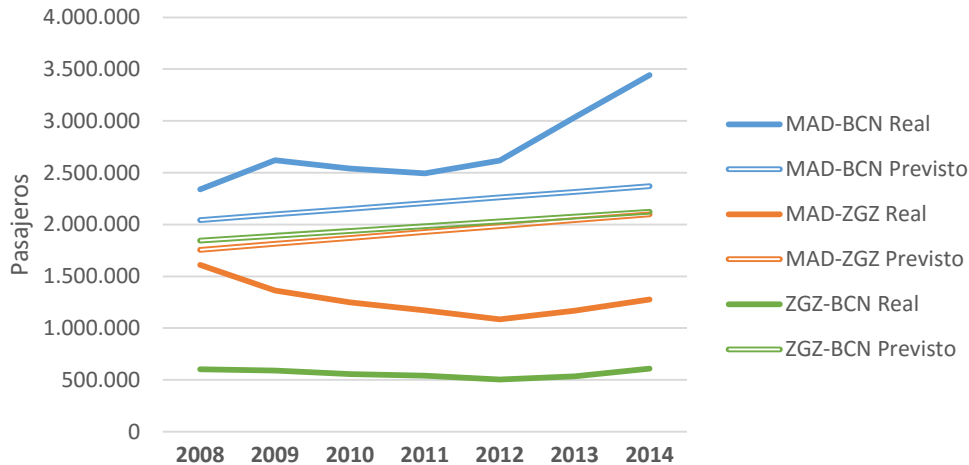
Fuente: Elaboración propia

El estudio de demanda que el Ministerio de Fomento llevó a cabo en el marco del estudio funcional del año 1997 minusvaloró la capacidad del AVE para atraer viajeros, estimando la demanda en un 88% del valor que finalmente alcanzó. Por otro lado, el estudio de A. López-Pita, F. Robusté (2005) sobrevaloraba la demanda, estimándola en un 149% de la que se produjo efectivamente. El estudio de B. Guirao (2000), que planteaba 3 hipótesis de cálculo, fue el que más se acercó al valor real de la

demanda, particularmente en el escenario planteado como Hipótesis 3, que fijó la estimación en un valor que suponía el 96% del valor real que se produciría en el primer año de operación.

En la siguiente ilustración se muestra la evolución de la demanda prevista en el estudio funcional del Ministerio de Fomento, suponiendo un crecimiento lineal durante los 10 primeros años de operación, frente a la demanda real que efectivamente se produjo entre las tres ciudades principales del corredor.

Figura 28. Evolución prevista de la demanda de AVE frente a la real

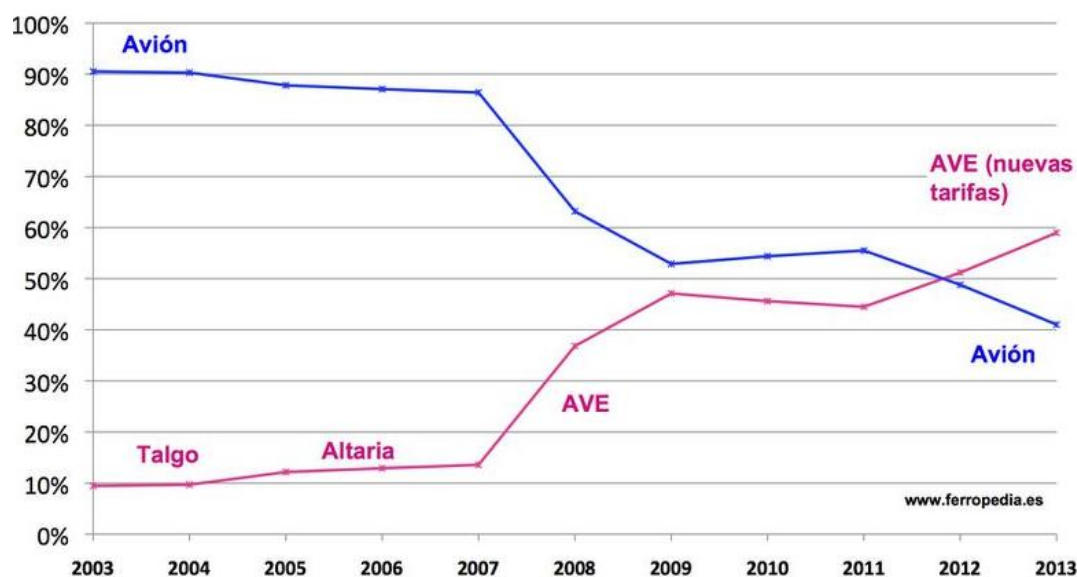


Fuente: Elaboración propia

Las previsiones de demanda del estudio funcional sufrieron de fuertes sobrevaloraciones en el caso de los trayectos con origen o destino Zaragoza. En este sentido, solo en el año 2008 los valores estimados para el trayecto Madrid-Zaragoza se acercaron a los reales (un 92%), lo cual probablemente se debió a la celebración de la Exposición Internacional de Zaragoza. En cuanto a la demanda prevista para el trayecto Madrid-Barcelona, la evolución de la misma a lo largo del plazo analizado sufrió un crecimiento superior al esperado, si bien entre los años 2009 y 2012 la demanda estuvo prácticamente inalterada debido a la crisis económica.

En la siguiente gráfica se presenta la evolución real de la demanda y el reparto modal entre el avión y el AVE tras la implantación de éste en el año 2008:

Figura 29. Reparto modal en el corredor Madrid-Barcelona entre los años 2003 y 2013



Fuente: Ferropedia (2016)

Durante el primer año de funcionamiento de la línea de alta velocidad (febrero 2008 a febrero 2009), el AVE transportó una media de 6.388 viajeros al día entre Madrid y Barcelona, frente a los 8.429 viajeros al día que escogieron el avión. Durante el año 2009, el porcentaje de pasajeros de tren fue aumentando poco a poco hasta situarse cerca del 50%. Este equilibrio en el reparto de viajeros se estabilizó en torno al 50% desde principios de 2009. A partir de 2011, tras la asunción por parte de RENFE de una nueva política de tarifas más agresivas, la participación del AVE dentro del reparto modal del transporte de viajeros sufrió un proceso de crecimiento acelerado, de modo que en el año 2013 el AVE alcanzó prácticamente el 60% de cuota.

5.1.3 Demanda real registrada entre 2008 y 2014 para coche, autobús y moto

Se presentan a continuación los datos reales registrados para los tres medios de transporte por carretera en el periodo 2008 – 2014.

Tabla 15. Demanda real entre las principales ciudades del corredor Madrid – Barcelona

Trayecto	Modo	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Madrid - Barcelona	Coche	2.424.496	2.378.456	2.359.541	2.355.288	2.161.257	2.146.547	2.282.449
	Autobús	348.798	342.175	339.454	338.842	310.928	308.811	328.363
	Moto	17.091	16.767	16.633	16.603	15.235	15.132	16.090
Madrid - Zaragoza	Coche	1.280.850	1.024.622	945.427	883.005	816.944	884.348	959.931
	Autobús	184.268	147.406	136.013	127.033	117.529	127.226	138.100
	Moto	9.029	7.223	6.665	6.225	5.759	6.234	6.767
Zaragoza - Barcelona	Coche	423.767	443.252	460.321	451.260	425.556	468.576	543.498
	Autobús	60.965	63.768	66.224	64.920	61.222	67.411	78.190

Trayecto	Modo	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
	Moto	2.987	3.125	3.245	3.181	3.000	3.303	3.831

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del OTLE y del OFE-2014

Como puede observarse, por lo general, se registra una caída importante del tráfico entre los años 2008 y 2013 que, en el caso del coche y del tramo Madrid-Barcelona, llega a ser del 11%.

5.2 Demanda de tráfico estimada para el corredor a partir de 2014

5.2.1 Estimación de la demanda a futuro del AVE

Una vez que el AVE se posiciona como un sistema de transporte maduro en el corredor Madrid-Barcelona, y en base al registro histórico de pasajeros desde la apertura hasta la actualidad, se puede estimar la evolución futura de la demanda en función de la evolución del PIB como principal variable macroeconómica.

La bibliografía establece que, en líneas generales, la demanda de un modo de transporte depende de dos factores: la evolución de la actividad económica y social y de las características de la oferta de los distintos modos de transporte (precio, frecuencia y tiempo de viaje). Si se supone que las características de la oferta de los modos de transporte actuales en el corredor se van a mantener relativamente constantes, se puede asumir que la evolución futura de la demanda estará estrechamente ligada a la variación del Producto Interior Bruto (PIB). En este mismo sentido, el autor J. Fernández Jánez publicó en octubre de 2015 una actualización de la expresión que correlaciona ambas variables, en función de los datos históricos de la última década:

$$\text{Variación de la demanda (\%)} = 0,11698 \times (\text{VarPIB}-0,8817)^2 + 1,906 \times (\text{VarPIB}-0,8817)$$

Para poder completar la prognosis de la demanda durante los próximos años se parte de los últimos datos de tráfico disponibles, los del año 2014, y se proyectan a futuro a través de la ecuación referida y en base a la estimación de crecimiento del PIB nacional en moneda constante publicada por el Fondo Monetario Internacional (FMI).

Las previsiones sobre el crecimiento del PIB que publica el FMI alcanzan únicamente hasta el año 2022. A partir de dicho año se estima un crecimiento del PIB equivalente a la media del crecimiento previsto en el periodo 2014 y 2021.

En la siguiente tabla se muestra la prognosis de tráfico para el AVE en el corredor Madrid-Barcelona obtenida para el plazo 2015-2032.

Tabla 16. Prognosis de demanda de AVE 2015-2032

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Variación PIB (%)	3,21	2,64	2,26	1,97	1,86	1,77
Variación demanda (%)	5,08	3,72	2,84	2,22	1,97	1,79
Madrid – Barcelona	3.555.809	3.640.434	3.705.277	3.769.710	3.834.866	3.901.311
Madrid – Zaragoza	1.319.427	1.350.828	1.374.889	1.398.797	1.422.974	1.447.629
Zaragoza - Barcelona	747.039	764.817	778.440	791.977	805.666	819.625

	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Variación PIB (%)	1,58	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08
Variación demanda (%)	1,39	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46
Madrid – Barcelona	3.968.906	4.037.673	4.107.631	4.178.801	4.251.204	4.324.862
Madrid – Zaragoza	1.472.711	1.498.228	1.524.187	1.550.595	1.577.462	1.604.793
Zaragoza - Barcelona	833.826	848.273	862.971	877.923	893.134	908.609

	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Variación PIB (%)	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08
Variación demanda (%)	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46
Madrid – Barcelona	4.399.796	4.476.028	4.553.582	4.632.478	4.712.742	4.794.397
Madrid – Zaragoza	1.632.598	1.660.885	1.689.662	1.718.938	1.748.721	1.779.020
Zaragoza - Barcelona	924.351	940.367	956.660	973.236	990.098	1.007.253

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Estimación de la demanda a futuro del avión, coche, autobús y moto

Para la estimación de la demanda del Hyperloop es necesario estimar, previamente, el tráfico previsto para el resto de medios de transporte, ya que dichos datos son inputs del modelo de tráfico desarrollado para el Hyperloop.

En el caso del avión, los datos a futuro a partir de 2015 son estimados a través de la relación expresada anteriormente que relaciona el tráfico del corredor con el PIB. En este sentido, debe tenerse en cuenta que el PIB es la principal variable empleada en los modelos de tráfico desarrollados por AENA y por la Dirección General de Tráfico (DGAC) del Ministerio de Fomento para la estimación de los tráficos en los aeropuertos españoles.

Por su parte, en el caso de los medios de transporte por carretera (coche, autobús y moto), se recurre al análisis de diferentes estudios de prognosis de tráfico, así como al análisis de la conexión entre la distribución histórica frente a otros medios de transporte y la evolución del PIB.

A partir de lo anterior, se obtienen los datos de tráfico previstos para los medios de transporte de avión, coche, autobús y moto en los diferentes trayectos del corredor, a saber:

Tabla 17. Prognosis de demanda de avión, coche, autobús y moto 2014-2032

Trayecto	Modo	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Madrid – Barcelona	Avión	2.277.790	2.332.000	2.373.537	2.414.812	2.456.550	2.499.113
	Coche	2.357.502	2.413.608	2.456.599	2.499.318	2.542.517	2.586.570
	Autobús	339.160	347.232	353.417	359.562	365.777	372.115
	Moto	16.619	17.014	17.317	17.619	17.923	18.234

Trayecto	Modo	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Madrid – Zaragoza	Avión	140	140	140	140	140	140
	Coche	991.496	1.015.092	1.033.173	1.051.139	1.069.308	1.087.835
	Autobús	142.641	146.035	148.637	151.221	153.835	156.500
	Moto	6.989	7.156	7.283	7.410	7.538	7.669
Zaragoza - Barcelona	Avión	150	150	150	150	150	150
	Coche	561.369	574.729	584.966	595.139	605.425	615.915
	Autobús	80.761	82.683	84.156	85.619	87.099	88.608
	Moto	3.957	4.051	4.124	4.195	4.268	4.342

Trayecto	Modo	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Madrid – Barcelona	Avión	2.542.413	2.586.464	2.631.278	2.676.868	2.723.248	2.770.432
	Coche	2.631.385	2.676.978	2.723.360	2.770.546	2.818.549	2.867.384
	Autobús	378.562	385.121	391.794	398.582	405.488	412.514
	Moto	18.550	18.871	19.198	19.531	19.869	20.213
Madrid – Zaragoza	Avión	140	140	140	140	140	140
	Coche	1.106.683	1.125.858	1.145.365	1.165.210	1.185.398	1.205.937
	Autobús	159.212	161.971	164.777	167.632	170.536	173.491
	Moto	7.801	7.937	8.074	8.214	8.356	8.501
Zaragoza - Barcelona	Avión	150	150	150	150	150	150
	Coche	626.586	637.443	648.487	659.723	671.154	682.783
	Autobús	90.143	91.705	93.294	94.911	96.555	98.228
	Moto	4.417	4.494	4.571	4.651	4.731	4.813

Trayecto	Modo	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Madrid – Barcelona	Avión	2.818.434	2.867.267	2.916.946	2.967.486	3.018.902	3.071.208
	Coche	2.917.065	2.967.607	3.019.025	3.071.334	3.124.549	3.178.686
	Autobús	419.661	426.932	434.330	441.855	449.511	457.299
	Moto	20.563	20.920	21.282	21.651	22.026	22.408
Madrid – Zaragoza	Avión	140	140	140	140	140	140
	Coche	1.226.832	1.248.088	1.269.713	1.291.712	1.314.093	1.336.861
	Autobús	176.497	179.555	182.666	185.831	189.051	192.326
	Moto	8.648	8.798	8.951	9.106	9.263	9.424
Zaragoza - Barcelona	Avión	150	150	150	150	150	150

Trayecto	Modo	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	Coche	694.613	706.648	718.891	731.347	744.019	756.910
	Autobús	99.930	101.661	103.423	105.215	107.038	108.892
	Moto	4.897	4.981	5.068	5.156	5.245	5.336

Fuente: Elaboración propia

5.3 Demanda de tráfico para el AVE

Se recoge en el presente epígrafe la demanda de tráfico para el AVE en los diferentes trayectos del corredor. Según se ha mencionado anteriormente, los valores comprendidos entre los años 2008 y 2014 se corresponden con valores reales registrados, mientras que los valores a futuro son estimaciones basadas en un modelo de tráfico cuya principal variable es la evolución del PIB español.

Tabla 18. Demanda del AVE para el corredor Madrid - Barcelona

Trayecto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Madrid - Barcelona	2.109.943	2.670.407	2.597.435	2.545.907	2.688.502	3.070.184	3.442.607
Madrid - Zaragoza	1.704.483	1.363.509	1.258.121	1.175.053	1.087.143	1.176.841	1.277.422
Zaragoza - Barcelona	563.925	589.855	612.569	600.511	566.306	623.555	723.256

Trayecto	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Madrid - Barcelona	3.555.809	3.640.434	3.705.277	3.769.710	3.834.866	3.901.311	3.968.906
Madrid - Zaragoza	1.319.427	1.350.828	1.374.889	1.398.797	1.422.974	1.447.629	1.472.711
Zaragoza - Barcelona	747.039	764.817	778.440	791.977	805.666	819.625	833.826

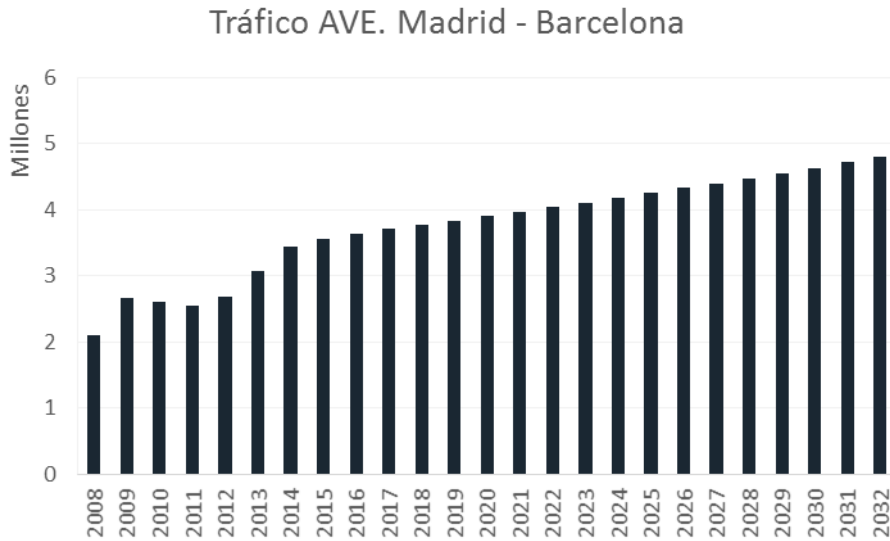
Trayecto	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Madrid - Barcelona	4.037.673	4.107.631	4.178.801	4.251.204	4.324.862	4.399.796	4.476.028
Madrid - Zaragoza	1.498.228	1.524.187	1.550.595	1.577.462	1.604.793	1.632.598	1.660.885
Zaragoza - Barcelona	848.273	862.971	877.923	893.134	908.609	924.351	940.367

Trayecto	2029	2030	2031	2032	2035	2040	2045
Madrid - Barcelona	4.553.582	4.632.478	4.712.742	4.794.397	5.047.948	5.500.679	5.994.013
Madrid - Zaragoza	1.689.662	1.718.938	1.748.721	1.779.020	1.873.103	2.041.094	2.224.152
Zaragoza - Barcelona	956.660	973.236	990.098	1.007.253	1.060.521	1.155.635	1.259.280

Fuente: Elaboración propia

Se presentan, a continuación, las ilustraciones que recogen la evolución del tráfico en cada uno de los trayectos, tanto la histórica como la prevista a futuro.

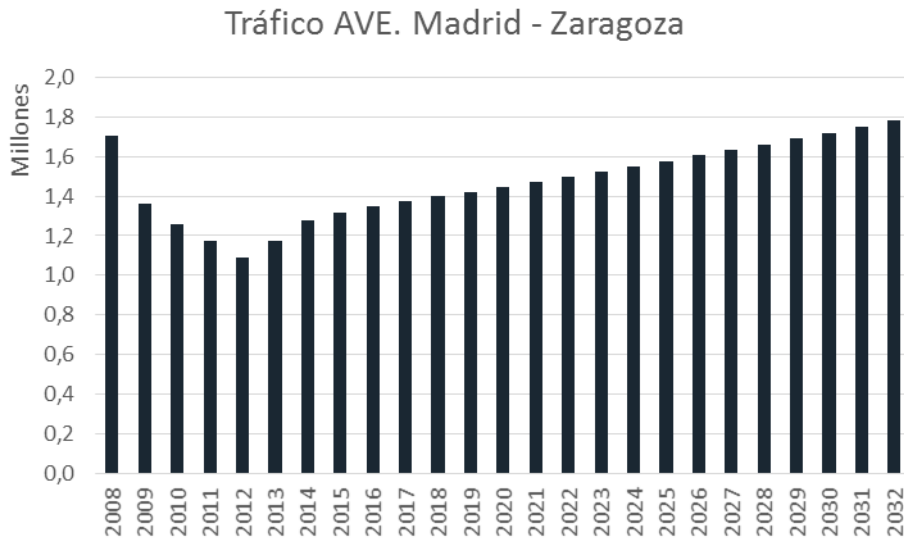
Figura 30. Tráfico AVE. Madrid – Zaragoza. 2008 - 2032



Fuente: Elaboración propia

A partir del año 2014 se considera un crecimiento más o menos estable y continuado del tráfico, lo que lleva a esperar registros próximos a los 4.800.000 en el año 2032 y a superar los 5 millones en el 2035.

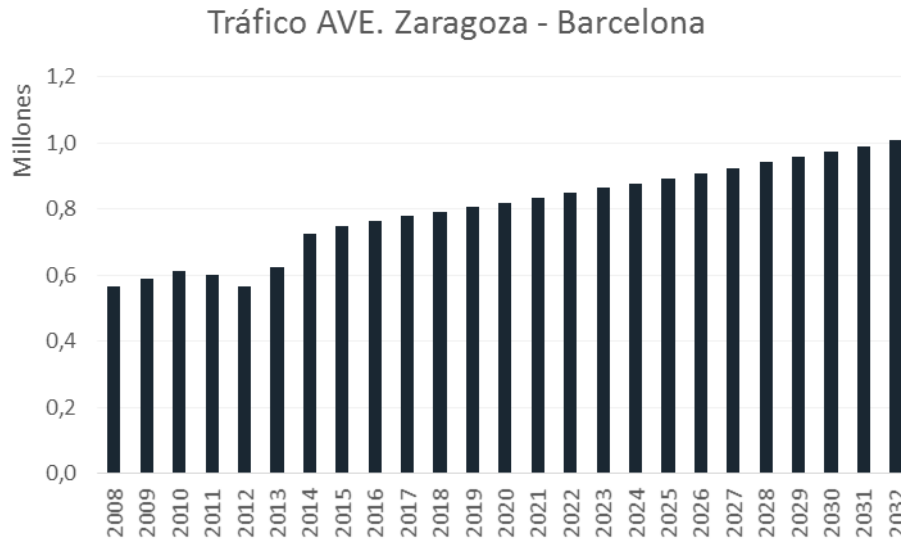
Figura 31. Tráfico AVE. Madrid - Zaragoza. 2008 - 2032



Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior, puede observarse fácilmente el repunte de tráfico que generó la EXPO de Zaragoza en el trayecto Madrid-Zaragoza. Dicho volumen de tráfico no se vuelve a alcanzar presumiblemente hasta el año 2030.

Figura 32. Tráfico AVE: Zaragoza - Barcelona. 2008 - 2032



Fuente: Elaboración propia

En el tramo Zaragoza-Barcelona se llega a alcanzar el millón de pasajeros en el año 2032, 25 años desde su puesta en explotación.

5.4 Demanda de tráfico para el Hyperloop

El Hyperloop es un nuevo modo de transporte para el cual no existen referencias en cuanto a su capacidad de atraer viajeros. Se considera que la manera óptima de estimar la demanda que el Hyperloop podría captar dentro del corredor Madrid-Barcelona debe basarse en la demanda que efectivamente se ha generado en el corredor entre los años 2008 y 2014 para cada uno de los medios de transporte (AVE, carretera y avión), así como en la demanda que se prevé que se generaría en el mismo durante los próximos años, es decir, en los datos de demanda descritos en el apartado anterior.

Para estimar la demanda que captará el Hyperloop es necesario realizar una serie de asunciones, a saber:

- El Hyperloop capta el 100% de la demanda del AVE en todo el corredor Madrid-Barcelona.**

Se entiende que las características positivas del viaje del Hyperloop, con unos tiempos de desplazamiento muy inferiores a los alcanzados por el AVE, compensan sobradamente las características negativas del Hyperloop, como puede ser la comodidad del viaje. Asimismo, es de destacar que ambos medios de transporte presentan características similares, como es el emplazamiento de las estaciones, la capacidad de transporte de maletas y los niveles de seguridad para el acceso.
- El Hyperloop capta parte de la demanda del avión, según el trayecto y el periodo considerado.**

Para llevar a cabo una distribución de la demanda entre los medios de transporte Hyperloop y el avión, se realiza un análisis donde se plantean y valoran las ventajas y desventajas existentes entre ambos medios, particularizándose, a su vez, al corredor en cuestión.

En este sentido, se considera que las principales **ventajas del Hyperloop** se basan en el **tiempo más reducido de viaje**, debido a las mayores velocidades de este medio que las realmente registradas por los aviones, y en la **localización de las estaciones** en puntos interiores de las ciudades. En este sentido, los aeropuertos se ubican a las afueras de las ciudades, lo que supone un hándicap a tener en cuenta por los usuarios. Hay otros factores que también pueden considerarse positivos para la elección del Hyperloop como medio de transporte, entre los que se pueden nombrar la **menor contaminación** generada y las mayores **frecuencias de operación**.

Como principales **desventajas del Hyperloop frente al avión**, cabe destacar la menor **capacidad para transportar maletas** y, principalmente, la **baja interconexión con otros aviones**. El Aeropuerto Adolfo Suarez Madrid-Barajas y, en menor medida, el Aeropuerto de Barcelona-El Prat son considerados hub puesto que son utilizados por diversas aerolíneas como punto de conexión entre rutas. Esto genera que numerosos viajeros que pasan por ambos aeropuertos se encuentren en conexión, es decir, que no utilicen dichos aeropuertos como destino final. Por ello, parece lógico pensar que un pasajero que viaje de Barcelona a Madrid para, posteriormente, conectar con un vuelo a otro destino nacional o internacional, valore positivamente la capacidad de conexión que le ofrece el aeropuerto. Asimismo, debe también valorarse la capacidad con la que cuentan los aeropuertos de AS Madrid-Barajas y Barcelona-El Prat como **puntos de reunión para negocios y conferencias**, por lo que, en ocasiones, puede ser más interesante desplazarse entre los aeropuertos que al centro de las ciudades.

Por lo anterior, se considera que el Hyperloop es capaz de captar el 60% de la demanda del avión en el trayecto que une las ciudades de Madrid y Barcelona. En el tramo Madrid – Zaragoza, del análisis del tráfico registrado, se observa como a partir del año 2010 la cifra de pasajeros es prácticamente insignificante, correspondiéndose con un vuelo chárter o el desvío de un avión. Por ello, a partir del año 2015 se considera un tráfico minoritario.

En el caso del trayecto Zaragoza – Barcelona, la cifra histórica de pasajeros es igualmente insignificante y de la misma manera se prevé que evolucione a futuro.

La siguiente tabla recoge la captación, por parte del Hyperloop, del tráfico procedente del avión, según los trayectos y diferentes periodos temporales.

Tabla 19. Tráfico captado por el Hyperloop procedente del avión

Tramo	2008 - 2010	2011 - futuro
Madrid - Barcelona	60%	60%
Madrid - Zaragoza	20%	0%
Zaragoza - Barcelona	0%	0%

Fuente: Elaboración propia

- **El Hyperloop capta parte del tráfico de carretera, según el medio de transporte.**

El Hyperloop presenta considerables ventajas respecto a los medios de transporte que utilizan la carretera: coche, autobús y moto. La velocidad y, por consiguiente, la reducción de los tiempos de viaje, es la principal ventaja del Hyperloop. No obstante, también deben tenerse en cuenta otros aspectos. En relación al **coche**, éste medio de transporte es generalmente

empleado también por los usuarios en la población de destino, no siendo usado únicamente para trasladarse por el corredor. Asimismo, el coche permite el desplazamiento de un conjunto de personas, lo que permite reducir el coste unitario. Otra ventaja del coche es la capacidad de transportar maletas, ya que se considera que la capacidad en el Hyperloop es baja.

En relación a la **moto**, ésta también es empleada por los usuarios en el punto de destino. Asimismo, se considera que en su uso se encuentran factores diferentes que también deben valorarse, como es el disfrute por parte de sus pasajeros. La moto, como medio de transporte para el largo recorrido, es empleado por usuarios que disfrutan de la misma, lo que puede, en ocasiones, valorarse por encima de factores como el precio y el tiempo.

En relación al **autobús**, se debe destacar el bajo coste unitario para sus usuarios, así como la posibilidad de un traslado algo mayor de maletas. No obstante, el tiempo de viaje es considerablemente mayor que en el resto de medios de transporte.

A partir de los análisis realizados, se consideran las siguientes captaciones de demanda por parte del Hyperloop.

Tabla 20. Tráfico captado por el Hyperloop procedente del coche, autobús y moto

Tramo	Medio	Coche	Autobús	Moto
Madrid - Barcelona		50%	70%	20%
Madrid - Zaragoza		30%	50%	10%
Zaragoza - Barcelona		30%	50%	10%

Fuente: Elaboración propia

- **El Hyperloop es capaz de generar un tráfico inducido.**

Las características del Hyperloop y los condicionantes del corredor Madrid –Barcelona, permiten estimar que se generará un cierto tráfico inducido, que en la actualidad no emplea ningún medio de transporte en el corredor en cuestión.

Los análisis realizados sobre los tráficos reales registrados del AVE, permiten observar que el tráfico inducido por dicho transporte es aproximadamente del 15%, según el corredor que se considere. En este sentido, se entiende que el tráfico inducido por el AVE es asimismo captado por el Hyperloop y, además, éste es capaz de generar un mayor tráfico inducido que se estima en el **7% del tráfico total** procedente del AVE, carretera y avión.

En base al conjunto de análisis anteriores, se obtiene la siguiente demanda del Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona:

Tabla 21. Prognosis de demanda del Hyperloop en el Corredor Madrid-Barcelona 2008-2032

Trayecto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Madrid – Barcelona	6.155.622	6.358.294	6.280.183	6.243.935	5.917.031	6.089.592	6.569.873
Madrid – Zaragoza	2.341.591	1.871.772	1.727.834	1.609.380	1.488.976	1.611.829	1.749.586

Trayecto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Zaragoza - Barcelona	772.365	807.879	838.989	822.474	775.626	854.035	990.588

Trayecto	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Madrid – Barcelona	6.785.908	6.947.407	7.071.152	7.194.117	7.318.461	7.445.263
Madrid – Zaragoza	1.807.117	1.850.125	1.883.079	1.915.825	1.948.939	1.982.707
Zaragoza - Barcelona	1.023.161	1.047.512	1.066.170	1.084.710	1.103.458	1.122.577

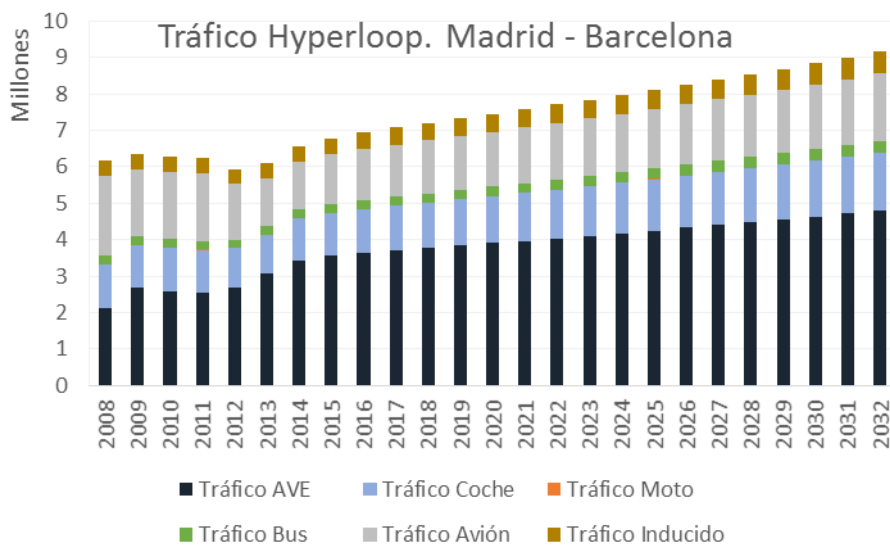
Trayecto	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Madrid – Barcelona	7.574.262	7.705.497	7.839.005	7.974.826	8.113.000	8.253.569
Madrid – Zaragoza	2.017.060	2.052.008	2.087.562	2.123.731	2.160.528	2.197.962
Zaragoza - Barcelona	1.142.027	1.161.814	1.181.944	1.202.423	1.223.257	1.244.451

Trayecto	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Madrid – Barcelona	8.396.573	8.542.055	8.690.057	8.840.624	8.993.800	9.149.629
Madrid – Zaragoza	2.236.045	2.274.787	2.314.201	2.354.297	2.395.089	2.436.587
Zaragoza - Barcelona	1.266.013	1.287.949	1.310.264	1.332.966	1.356.061	1.379.557

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta gráficamente el tráfico esperado para el Hyperloop en cada uno de los tramos. La demanda de tráfico es presentada en base a la captación que se realiza del resto de medios de transporte.

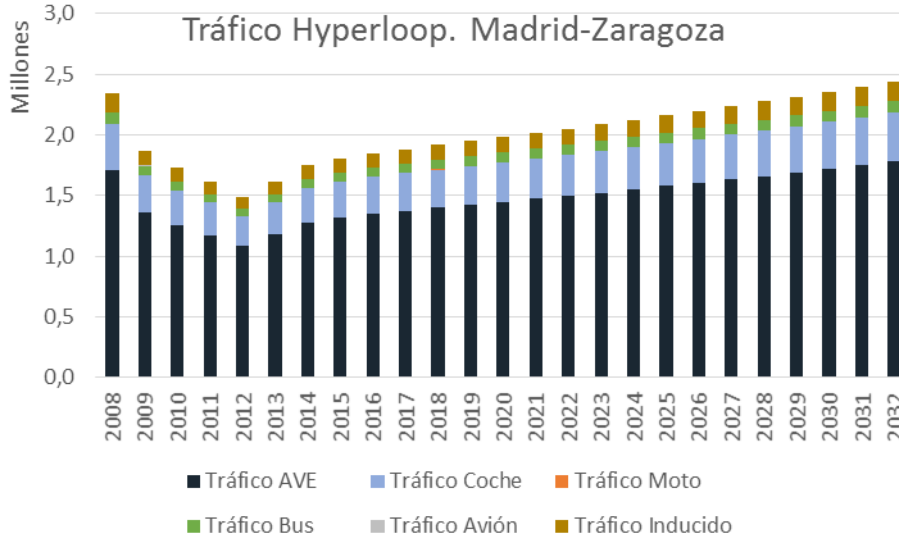
Figura 33. Tráfico Hyperloop. Madrid-Barcelona. Captación por modos de transporte. 2008-2032



Fuente: Elaboración propia

En el trayecto Madrid-Barcelona, el AVE y, en segundo lugar, el avión son los medios de transporte que mayor tráfico aportan al Hyperloop.

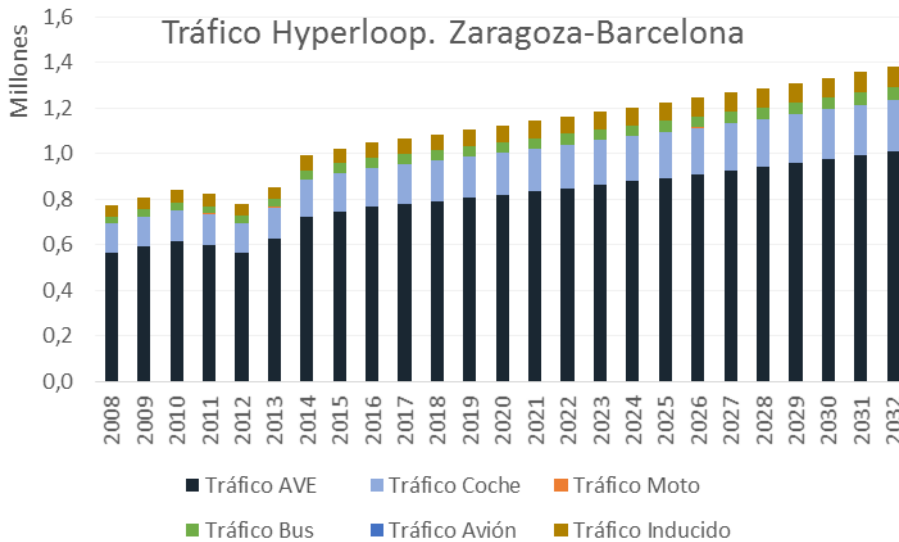
Figura 34. Tráfico Hyperloop. Madrid-Zaragoza. Captación por modos de transporte. 2008-2032



Fuente: Elaboración propia

En el tramo Madrid-Zaragoza el tráfico procedente del avión y de las motos es prácticamente despreciable.

Figura 35. Tráfico Hyperloop. Zaragoza-Barcelona. Captación por modos de transporte. 2008-2032



Fuente: Elaboración propia

Al igual que sucede en el trayecto anterior, el tráfico procedente del avión y de las motos es prácticamente despreciable, por lo que no se llega a distinguir en la ilustración.

5.4.1 Demanda de tráfico en hora punta

Resulta importante estimar la demanda que generaría el Hyperloop a lo largo del año y en los distintos horarios del día, con el objetivo de estimar los medios necesarios para dar el servicio requerido en los momentos de mayor demanda. Sin embargo, no se cuenta con datos públicos sobre la demanda real y prevista en el corredor desagregada por día y horario. Para estimar la demanda requerida en la hora punta se parte del número de servicios que se dan entre estas ciudades en los distintos momentos y, especialmente, en los horarios de mayor demanda. Para realizar esta estimación, se parte de la capacidad total actual de transporte en la hora punta entre Madrid y Barcelona, y mediante una serie de hipótesis, se calcula el número de viajeros en dicho momento de mayor demanda.

En 2007, previamente a la implantación del AVE, se dimensionó el servicio para transportar 8.000 viajeros diarios, con hasta cuatro trenes por hora en los momentos de máxima demanda (de 6.00 h a 10.00 h) en doble composición. De esta manera, la capacidad de transporte de viajeros en la hora punta era de hasta 3.200 viajeros a la hora. En abril de 2011 se incrementaron las frecuencias hasta los 28 servicios diarios y se aumentó la oferta de viajes en la hora punta hasta los valores ofertados en la actualidad. Las frecuencias por sentido en día laborable se organizaron de la siguiente manera:

- 10 trenes directos entre Madrid y Barcelona (sin paradas).
- 8 semidirectos (con parada en Zaragoza).
- 10 con parada en todas las estaciones del recorrido.

Actualmente, en el año 2016, la oferta diaria de trenes en el corredor de Madrid-Barcelona es de 29 servicios diarios. Tomando como referencia los horarios ofrecidos para el lunes 13 de junio de 2016, se muestran a continuación las frecuencias en las horas de mayor demanda:

Tabla 22. Frecuencias de AVE durante los horarios de mayor demanda

Salida	Llegada	Duración
06.10	08.40	2 h. 30 min.
05.50	08.55	3 h. 5 min.
06.30	09.20	2 h. 50 min.
07.00	09.30	2 h. 30 min.
07.20	09.50	2 h. 30 min.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de RENFE

En los servicios durante la hora punta, RENFE oferta plazas en trenes de doble composición, alcanzando una capacidad de aproximadamente 800 plazas por servicio. Por tanto, entre las 8.40 y las 9.50 de la mañana (hora de llegada a destino) el número de plazas ofertado en el AVE es de 4.000.

Es necesario también analizar la capacidad de transporte ofertada durante la hora punta en el avión. En la siguiente tabla se muestran los vuelos ofrecidos en las horas de mayor demanda:

Tabla 23. Vuelos ofertados durante los horarios de mayor demanda

Vuelo	Compañía aérea	Salida	Llegada	Avión
IBE0646	IBERIA	6:45	8:00	A321
IBE0730	IBERIA	7:30	8:45	A321
VLG1008	VUELING AIRLINES	7:30	8:45	A320
AEA2001	AIR EUROPA	7:30	8:50	A330
IBE0800	IBERIA	8:00	9:15	A321
VLG1022	VUELING AIRLINES	8:00	9:15	A320

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de AENA y de las compañías aéreas

Los aviones utilizados en estos vuelos tienen capacidades variables, desde los 164 asientos del A320 hasta los 293 asientos del A330. De media, se puede estimar que los vuelos detallados tienen una capacidad media de 200 pasajeros por avión. Por tanto, entre las 8.00 y las 9.15 de la mañana (hora de llegada a destino) el número de plazas ofertado en el avión es de 1.200.

A partir de la capacidad de transporte ofertada en los dos modos, y estimando un aprovechamiento medio del 75% para el AVE y del 85% del avión, se puede calcular la demanda en la hora punta en el corredor Madrid-Barcelona, que sería de 3.000 viajeros de AVE que llegan a su destino entre las 8.40 y las 9.50 y 1.020 viajeros de avión que llegan a su destino entre las 8.00 y las 9.15, equivalente a 2.571 viajeros a la hora en el AVE más 816 viajeros a la hora en avión.

Según lo establecido anteriormente, se estima que el Hyperloop captaría el 100% de la demanda del AVE y el 60% de la demanda del avión. De este modo, se puede calcular que la demanda que tendría el Hyperloop en el año 2016 durante la hora punta sería de aproximadamente 3.224 viajeros a la hora. En la siguiente tabla se muestra la evolución de la demanda en la hora punta a lo largo de los años partiendo de la hipótesis de que la demanda en hora punta se mantendrá siempre en la misma proporción respecto a la demanda total.

Tabla 24. Estimación de la demanda del Hyperloop en la hora punta entre Madrid y Barcelona

Demanda según trayecto	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Demanda Madrid – Barcelona	6.155.622	6.358.294	6.280.183	6.243.935	5.917.031	6.089.592
Demanda Madrid – Zaragoza	2.341.591	1.871.772	1.727.834	1.609.380	1.488.976	1.611.829
Demanda Zaragoza - Barcelona	772.365	807.879	838.989	822.474	775.626	854.035
Demanda total en el MAD - ZGZ	8.497.213	8.230.066	8.008.017	7.853.315	7.406.007	7.701.421
Demanda en la hora punta	3.943	3.819	3.716	3.645	3.437	3.574
Demanda total en el ZGZ - BCN	6.927.987	7.166.173	7.119.172	7.066.409	6.692.657	6.943.627
Demanda en la hora punta	3.215	3.326	3.304	3.279	3.106	3.222

Demanda según trayecto	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Demanda Madrid – Barcelona	6.569.873	6.785.908	6.947.407	7.071.152	7.194.117	7.318.461
Demanda Madrid – Zaragoza	1.749.586	1.807.117	1.850.125	1.883.079	1.915.825	1.948.939
Demanda Zaragoza - Barcelona	990.588	1.023.161	1.047.512	1.066.170	1.084.710	1.103.458
Demanda total en el MAD - ZGZ	8.319.459	8.593.025	8.797.532	8.954.231	9.109.942	9.267.400
Demanda en la hora punta	3.861	3.988	4.083	4.156	4.228	4.301
Demanda total en el ZGZ - BCN	7.560.461	7.809.069	7.994.919	8.137.322	8.278.827	8.421.919
Demanda en la hora punta	3.509	3.624	3.710	3.776	3.842	3.909

Demanda según trayecto	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Demanda Madrid – Barcelona	7.445.263	7.574.262	7.705.497	7.839.005	7.974.826	8.113.000
Demanda Madrid – Zaragoza	1.982.707	2.017.060	2.052.008	2.087.562	2.123.731	2.160.528
Demanda Zaragoza - Barcelona	1.122.577	1.142.027	1.161.814	1.181.944	1.202.423	1.223.257
Demanda total en el MAD - ZGZ	9.427.970	9.591.322	9.757.505	9.926.567	10.098.557	10.273.528
Demanda en la hora punta	4.375	4.451	4.528	4.607	4.687	4.768
Demanda total en el ZGZ - BCN	8.567.840	8.716.289	8.867.311	9.020.949	9.177.249	9.336.257
Demanda en la hora punta	3.976	4.045	4.115	4.187	4.259	4.333

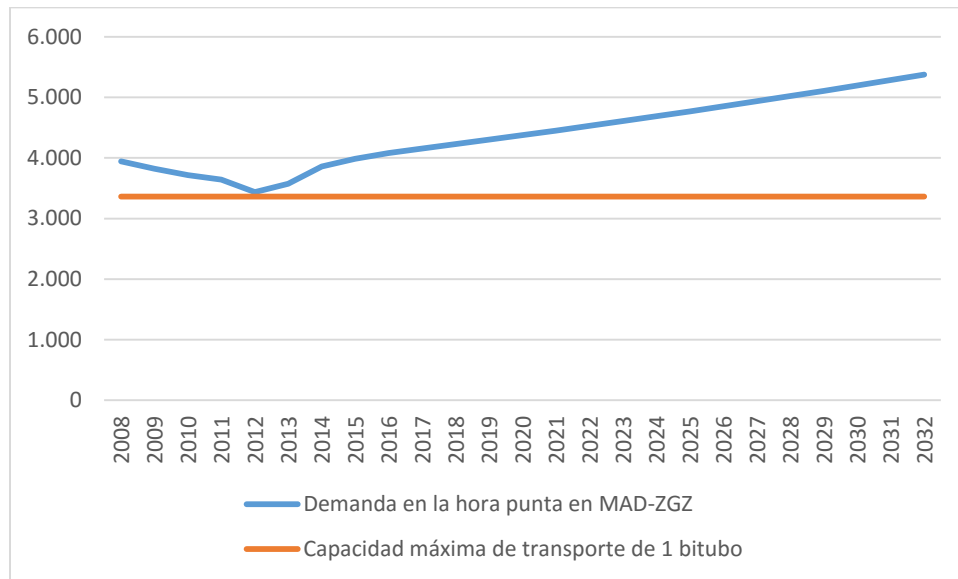
Demanda según trayecto	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Demanda Madrid-Barcelona	8.253.569	8.396.573	8.542.055	8.690.057	8.840.624	8.993.800	9.149.629
Demanda Madrid – Zaragoza	2.197.962	2.236.045	2.274.787	2.314.201	2.354.297	2.395.089	2.436.587
Demanda Zaragoza-Barcelona	1.244.451	1.266.013	1.287.949	1.310.264	1.332.966	1.356.061	1.379.557
Demanda total en el MAD-ZGZ	10.451.531	10.632.618	10.816.842	11.004.258	11.194.921	11.388.889	11.586.216
Demanda en la hora punta	4.850	4.935	5.020	5.107	5.195	5.285	5.377
Demanda total en el ZGZ-BCN	9.498.020	9.662.586	9.830.004	10.000.321	10.173.590	10.349.861	10.529.186
Demanda en la hora punta	4.408	4.484	4.562	4.641	4.721	4.803	4.886

Fuente: Elaboración propia

El tramo que soporta una mayor demanda en la hora punta es el de Madrid - Zaragoza. Es preciso comprobar si en ese tramo es posible transportar toda la demanda en hora punta con las condiciones de explotación definidas en el documento *Hyperloop Alpha*. En ese documento se establece que las válvulas tienen una capacidad de transporte de 28 pasajeros, y que la frecuencia máxima entre vainas se corresponde con una vaina cada medio minuto (es decir, 120 vainas/hora). En base a estos datos de partida, la capacidad máxima de transporte del Hyperloop es de 3.360 pasajeros a la hora por sentido, en el supuesto en que existiese un tubo por sentido. Al comparar este valor máximo con la

demanda en la hora punta en el tramo Madrid Zaragoza, se produce la situación descrita en el siguiente gráfico.

Figura 36 – Demanda en Hora punta frente a la capacidad de transporte de un bitubo



Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis de este gráfico se hace evidente que **el Hyperloop, con las condiciones de explotación definidas, no podría dar el servicio requerido en la hora punta si sólo dispone de un único tubo por sentido. Se haría necesario construir dos bitubos (cuatro tubos, dos por sentido) para que la infraestructura pueda dar el servicio requerido en la hora punta.**

6 Análisis de Costes de Implantación

El presente epígrafe recoge la estimación de los costes de construcción tanto de la infraestructura como de la superestructura, las estaciones y elementos auxiliares, tanto del AVE como del Hyperloop.

Independientemente de la fuente de la que se han obtenido o estimado los costes, dado que los modelos económicos desarrollados en el presente Estudio se han elaborado con costes del año 2003, se aplica el factor corrector necesario en cada uno de ellos para unificarlos a dicho año.

6.1 Costes de implantación para el AVE

6.1.1 Construcción

En la actualidad existe cuantiosa información sobre los costes de inversión de la línea de AVE Madrid – Barcelona, y en cada una de las publicaciones que se consulta existe un baile de cifras considerable, dependiendo de lo que se incluye como inversión en cada una de dichas publicaciones. Es por ello, que para realizar el presente Proyecto se haya escogido lo indicado en el **Informe de Fiscalización nº 983 del Tribunal de Cuentas “Informe de Fiscalización de las principales contrataciones relacionadas con la construcción de la línea férrea de alta velocidad Madrid – Barcelona, desarrolladas desde el 1 de enero de 2002 hasta la puesta en funcionamiento de la línea”**.

En dicho documento, en su apartado III.2 “Contratación y ejecución de las obras de construcción del AVE Madrid – Barcelona” se indican los costes totales de dicha línea:

*[...La línea de AVE Madrid-Barcelona (Sants), con una longitud de 621 Km., entró en funcionamiento en febrero de 2008. Para su construcción se adjudicaron 2.095 contratos principales por 6.822.833 miles de euros, con un importe global de licitación de 7.550.424 miles, 38 contratos de obras complementarias por un importe de 171.984 miles y 9 obras de emergencia por 239.867 miles y cuyo **coste final ascendió a 8.966.711 miles**, que origina un **precio medio de 14.439 miles de euros por kilómetro**, con una desviación global del 31,4% respecto de los precios inicialmente previstos, debido a las modificaciones de los contratos, a las obras complementarias y de emergencia, a las revisiones de precios y a las liquidaciones adicionales. **El 33% de los contratos fueron de ejecución de obras, el 30% de asistencia técnica, el 13% contratos de suministro, el 3% de servicios, el 16% correspondieron a convenios y expedientes de gasto y el 5% restante fueron contratos menores**. El siguiente cuadro muestra el coste total a la fecha de finalización de los trabajos de fiscalización de la contratación efectuada para la construcción de la línea, clasificado por tipos de contratos.*

Tabla 25. Clases de Contratos para construcción AVE

Clases de contratos	Coste (miles EUR)
Contratos de obra	7.326.125
Contratos de asistencia técnica	473.719
Contratos de suministros	828.915

Clases de contratos	Coste (miles EUR)
Contratos de servicios	189.175
Convenios y expedientes de gasto	146.389
Contratos menores	2.388
Total	8.966.711

Fuente: Informe Fiscalización del Tribunal de Cuentas

El 81,7% de esa inversión tuvo su origen en 666 contratos de ejecución de obras que se habían adjudicado por importe de 5.406.322 miles de euros, con un ahorro inicial del 10% sobre precio de licitación; sin embargo, como consecuencia de las modificaciones de los contratos, de la formalización de 34 contratos de obras complementarias y de 9 obras de emergencia, de las revisiones de precios y de las liquidaciones adicionales, el coste total de ejecución de las obras ascendió a 7.326.125 miles, superior en un 35,5% al precio de adjudicación de los contratos primitivos. Además, se tramitaron 555 expedientes de prórrogas y ampliaciones de plazo, por un periodo medio de 4,5 meses por expediente. El cuadro siguiente muestra el número e importe de los contratos e incidencias en la ejecución de las obras.

Tabla 26. Contratos e incidencias en construcción AVE

Contratos e Incidencias en la ejecución de las obras AVE Madrid-Barcelona	Nº	Importe (miles de EUR)
Contratos principales	666	5.406.322
Modificaciones	141	622.824
Obras complementarias	34	161.128
Obras de emergencia	9	239.867
Revisión de precios	355	477.579
Liquidación adicional	481	418.405
Total	1.686	7.326.125

Fuente: Informe Fiscalización del Tribunal de Cuentas

*También se licitaron 653 contratos de asistencia técnica destinados fundamentalmente a la **redacción de los proyectos y a la asistencia técnica a la dirección y supervisión de los proyectos y de las obras, que representaron el 5% de la inversión total**. El precio de adjudicación de estos contratos ascendió a 371.957 miles de euros, con una baja media respecto del precio de licitación del 18%. Las incidencias surgidas durante la ejecución de estos contratos, elevaron el coste final a 473.719 miles, sobrepasando en un 27,4% el de **suministros** por un importe de 789.920 miles de euros, sin embargo las incidencias surgidas durante su ejecución elevaron el coste final de estos contratos a 828.915 miles, un 5% superior al precio de adjudicación, que **ha supuesto el 9,2% de la inversión total en la línea férrea...**].*

Los costes, por tramos son los siguientes:

- Tramo Madrid – Lleida: 4.700 M €. Puesta en servicio el año 2003. Longitud total de 443 km.
- Tramo Lleida – Tarragona: 1.613 M €. Puesta en servicio el año 2006. Longitud total de 108 km.
- Tramo Tarragona – Barcelona: 2.653 M €. Puesta en servicio el año 2008. Longitud total de 98 km.

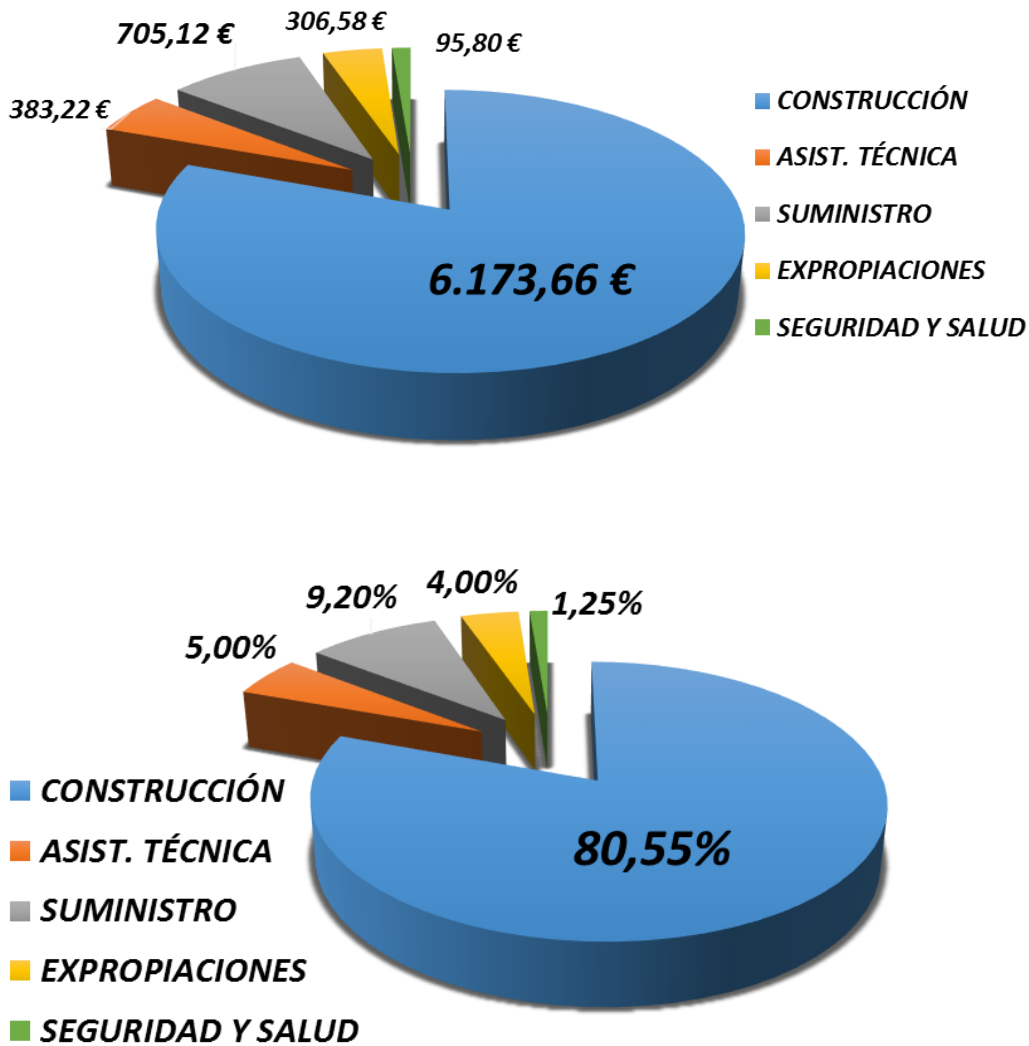
Por tanto, el ratio anterior total de **14,44 M€/km de línea de AVE (vía doble)**, se desglosaría en 10,61 M€ para el tramo Madrid – Lleida, 14,94 M€ para el tramo Lleida – Tarragona y 27,06 M€ para el tramo Tarragona – Barcelona.

A efectos del Estudio, los ratios de costes por kilómetro de los tres tramos, indicados en el párrafo anterior, no tienen relevancia ya que se considera la línea en su totalidad (los 621 km de trazado). No obstante, se ha especificado para llamar la atención sobre las grandes diferencias que pueden existir en una misma línea, debido a las diferentes condiciones del terreno que se atraviesa. En este sentido, reflejan que solo en el tramo final de Camp de Tarragona a Barcelona, dichas diferencias corresponden prácticamente en su totalidad al aumento de coste en el capítulo de estructuras y túneles, ya que fue necesario construir 30 túneles con una longitud total de 19.760 m y 37 viaductos con una longitud total de 9.767 m.

Para la concreción de los costes de construcción de infraestructura, el presente Estudio se basa en las estimaciones realizadas en diversos documentos, entre los que se encuentra el “Estudio de Optimización funcional de la línea de alta velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – frontera francesa” del Ministerio de Fomento. Los costes anteriores, en euros del año 2003 (7.664,38 M€) se desglosan de la siguiente manera:

- Costes de Construcción: 80,55%
- Costes de asistencia técnica (redacción de proyectos y direcciones de obra): 5%
- Costes de suministro: 9,20%
- Costes de expropiaciones: 4%
- Costes de Seguridad y salud: 1,25%

Figura 37. Costes de inversión en construcción. AVE

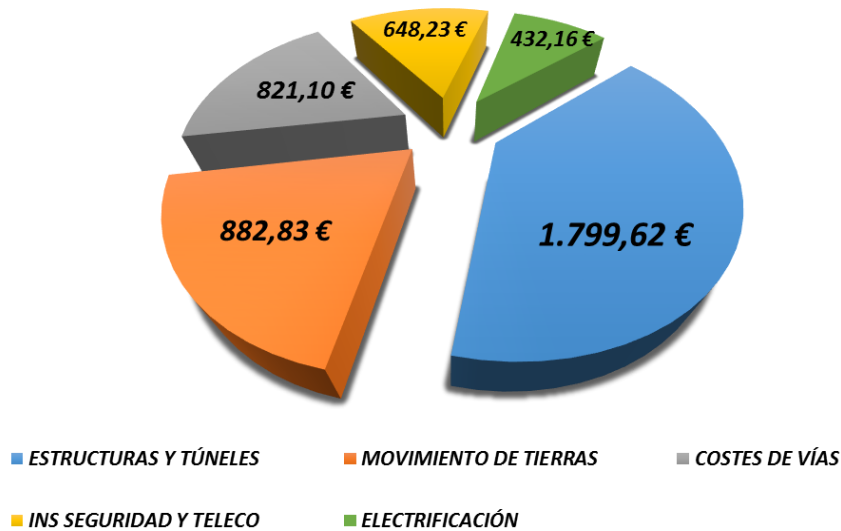


Fuente: Elaboración propia

La partida de construcción se puede seguir desglosando entre la inversión en plataforma y en superestructura. A continuación, se indican los principales costes en plataforma y vía:

- Costes de plataforma (Demoliciones, movimientos de tierra, drenaje, reposición de servidumbres, estructuras y túneles, integración ambiental y varios) que suponen un 55% del total. De entre ellos los más significativos son:
 - Costes de estructuras y túneles: 53%
 - Costes de movimientos de tierra: 26%
- Costes de superestructura (vía, instalaciones ferroviarias, electrificación, instalaciones de seguridad y telecomunicaciones) que suponen un 35% del total. De entre ellos los más significativos son:
 - Costes de vías: 38%
 - Costes de instalaciones de seguridad y telecomunicaciones: 30%
 - Costes de electrificación: 20%

Figura 38: Desglose costes construcción. Costes principales de plataforma y vía. AVE



Fuente: Elaboración propia

Si se comparan estos costes con los parámetros de eficiencia para estudios y proyectos de infraestructuras ferroviarias incluidos en la Orden FOM/3317/2010, de 17 de diciembre sobre medidas específicas para la mejora de la eficiencia en la ejecución de obras públicas de infraestructuras ferroviarias, se observa que cumplen con las horquillas definidas para:

- Costes de plataforma (consideramos orografía ondulada): ratio menor de 8 M€/km de ejecución material.
- Costes de vía: ratio menor de 1,35 M€/km de ejecución material.
- Costes de energía: ratio menor de 0,7 M€/km de ejecución material.
- Coste instalaciones de seguridad y telecomunicaciones: ratio menor de 1,25 M€/km de ejecución material.

De acuerdo con la *Union Internationale des Chemins de fer* (UIC, 2005) y Campos Méndez, De Rus, & Barrón de Angoití, 2009, de manera habitual la construcción de una infraestructura nueva de alta velocidad ferroviaria comporta incurrir en tres grandes partidas de costes:

- Costes de planificación y preparación del terreno. Esta partida incluye esencialmente los costes de los estudios de viabilidad (técnica y económica) previos a la ejecución del proyecto y los costes asociados a la adquisición de los terrenos (por ejemplo, expropiaciones), así como los costes administrativos y legales vinculados a los factores anteriores. Normalmente el importe de esta partida suele representar entre un 5 y un 10% del total de la inversión.
- Costes de construcción de la infraestructura. Son todos aquellos que tienen que ver con la preparación física del terreno y la construcción de la plataforma de balasto o placa sobre la que se sitúan posteriormente las vías. También se incluye la eliminación de todo tipo de obstáculos, movimiento de tierras (rellenos y nivelación), así como obras de drenaje y contención de aguas. El importe de esta partida puede variar en función del tipo de proyecto, lógicamente en proporción a la longitud de la línea y las características previas del terreno. Por norma general suele representar como mínimo un 10-25% del volumen total de inversión. No obstante, cuando resulta necesario recurrir a obras de ingeniería singulares (puentes,

viaductos, túneles, etc.) esta partida puede llegar a suponer entre el 40 y el 50% del coste total del proyecto.

- Costes de la superestructura: Incluyen el resto de elementos asociados a la tracción por ferrocarril (rieles, traviesas, piezas de sujeción, catenaria, aparatos de electrificación y señalización, instalaciones de comunicaciones, seguridad, bloqueo, etc.). El valor total asociado a todos estos elementos es proporcional a la longitud de la línea y su importe suele representar entre un 5 y un 10% de la inversión total.
- En la mayor parte de los proyectos, los costes de la superestructura también incluyen la construcción de andenes, estaciones y apartaderos, así como edificios técnicos auxiliares.

Cuando en algún proyecto existe alguna obra o edificio que, por sus características de ingeniería o arquitectónicas, la configuran como una singularidad relevante, sus costes suelen tratarse de forma separada, y no se incluyen en el proyecto LAV. Esto ocurre con puentes o túneles (como el Euro túnel bajo el Canal de la Mancha) que, a pesar de su carácter ferroviario, tienen entidad propia, o con estaciones dotadas de interés arquitectónico como la remodelación de la estación de Atocha de Madrid (denominada “Madrid Puerta de Atocha”). La estimación para la construcción y remodelación de las tres estaciones consideradas en este estudio ha ascendido a 455,85 M€.

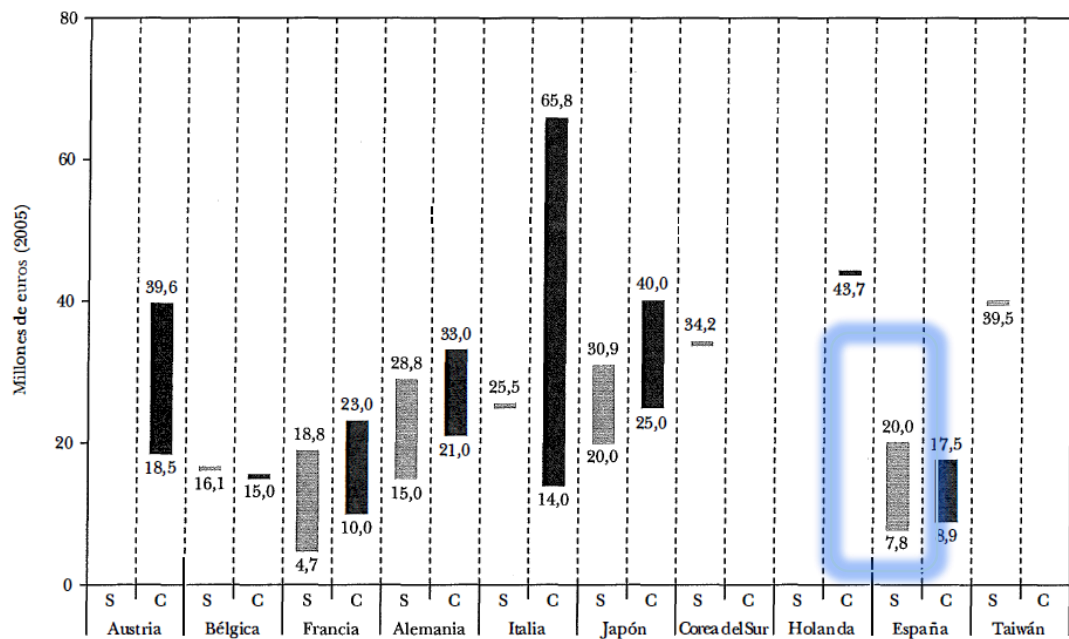
Por tanto, el coste total de inversión de construcción asciende a 8.120,25 M €.

Si se compara con las líneas del resto del mundo, y de acuerdo a los criterios de partidas de costes anteriores (UIC, 2005), resulta posible distinguir cinco tipos diferentes de proyectos:

- Grandes corredores aislados de otras líneas de alta velocidad, como el AVE Madrid-Sevilla o el TGV París-Lyon.
- Grandes corredores integrados en una red de alta velocidad, como el AVE Madrid-Barcelona (integrado con el Madrid-Sevilla) o París-Lille (integrado con París-Lyon y la red francesa de alta velocidad).
- Extensiones menores a corredores ya existentes, como la línea Madrid-Toledo o Lyon-Valencia, ambas desarrolladas para servir a ciudades de tamaño medio próximas al corredor primario.
- Grandes proyectos singulares, como el Eurotúnel entre Francia y Gran Bretaña, el Grand Belt en Dinamarca, o el proyecto para construir un puente sobre el Estrecho de Mesina, en el sur de Italia.
- Pequeños proyectos complementarios para mejorar la red convencional, como aquellos específicamente diseñados para conectar ciudades con sus aeropuertos a velocidades mayores, o las obras de mejora en tramos de la red convencional con el fin de acomodarlos a la alta velocidad (tal como se ha realizado en Alemania e Italia).

En la siguiente figura se muestra el coste medio por kilómetro de la infraestructura (expresado en euros del año 2005), sin tener en cuenta los costes de planificación y preparación del terreno, de la alta velocidad para diversos países. La S hace referencia a líneas que ya se encuentran en servicio y la C a líneas de nueva construcción en el año 2006.

Figura 39: Coste medio por kilómetro en infraestructuras AV



Notas:

- S: Líneas en servicio;
- C: Líneas en construcción (2006).
- Los costes representados excluyen los costes de planificación y preparación del terreno.

Fuente: Base de datos propia. Elaborada a partir de UIC (2005b).

Fuente: "Transporte Ferroviario de Alta Velocidad" Fundación BBVA (año 2009)

El coste medio por kilómetro en el conjunto de los 45 proyectos que se consideraron por parte de los autores del estudio "Transporte Ferroviario de Alta Velocidad" de la Fundación BBVA del año 2009 (Campos Méndez, De Rus, & Barrón de Angoit, 2009) oscila entre 6 y 45 millones de euros, con un valor promedio situado en torno a los 17,5 millones de euros. Si el análisis se limita a los proyectos en servicio disponibles por los autores del estudio (24 proyectos), el rango está entre 9 y 39 millones, con un valor medio de 18 millones de euros por kilómetro. Con la excepción de China, parece que construir alta velocidad en Asia (Japón, Corea del Sur y Taiwán) resulta mucho más costoso que en Europa, aunque los datos de estos dos últimos países incluyen proyectos en los que la construcción de las nuevas líneas está mezclada con la mejora de líneas convencionales. En Europa, pueden distinguirse dos grupos de países: Francia y España tienen costes de construcción ligeramente inferiores a los de Alemania, Italia o Bélgica. Esto se explica no sólo por razones de similitud orográfica y por la existencia de una menor concentración de la población fuera de las grandes ciudades, sino también por algunas diferencias en los procedimientos de construcción.

Es importante también comentar que el coste de la línea Madrid-Barcelona asciende al valor de 14,44 M€ / km de línea (€ año 2008), valor situado dentro del rango que se muestra en la figura anterior, que para las líneas de nueva construcción en España da un valor entre 8,9 millones de euros y 17,5 millones de euros.

Por último, tal como se indica en el informe nº 983 de fiscalización del Tribunal de Cuentas, se debe añadir que en el caso de la línea Madrid – Barcelona, dentro del periodo 2000-2006 se cofinanciaron, sin obtener ningún tipo de financiación por parte del Fondo Europeo de Desarrollo Regional, los trabajos de los siguientes tramos:

- Por el Fondo de Cohesión, las obras de plataforma del tramo Madrid – Barcelona, así como el suministro y montaje de vía del tramo Madrid - Vilafranca del Penedés e instalaciones de

electrificación, señalización y comunicaciones del tramo Madrid – Lleida, con una ayuda que asciende a 3.349,5 millones de euros.

- Por las Ayudas RTE-T (Redes Transeuropeas de Transporte), los estudios y proyectos, así como las obras de la plataforma del tramo Maçanet – Sils, con una ayuda que asciende a 70,9 millones de euros.

Para la distribución de anualidades de la construcción no se ha considerado el calendario real, sino que para homogeneizar el Plan de Viabilidad de los dos sistemas de transportes se ha elegido un mismo período de construcción, en este caso de cinco años, desde el año 2003 al 2007 con una proporción de avance del 20% anual.

6.1.2 Material Rodante

Se considera un periodo de vida útil de 40 años para todo el material móvil. Los costes se indican en euros del año 2003, moneda base del análisis económico financiero.

6.1.2.1 *Trenes de Viajeros*

En el Análisis económico financiero, y en el modelo en Excel desarrollado a tal efecto en este Estudio, se establecen los trenes necesarios para la demanda prevista, la distribución de anualidades de su adquisición y los años en los que son necesarios su ampliación y renovación.

Se parte de una inversión necesaria de 27 trenes para su explotación en el año 2008. El coste considerado es de 25,814 M€/tren y 63.896,29 €/plaza (costes estimados y unificados a partir de los datos de RENFE indicados en su página web). Por tanto, la inversión necesaria durante los años de construcción asciende a 740 M €.

En el presente Estudio solo se consideran unidades adquiridas de la Serie 103 de RENFE para su comparación con las vainas del Hiperloop y no se consideran los distintos trenes adquiridos por RENFE y ADIF que operan en la línea que no son propiamente de Alta Velocidad.

6.1.2.2 *Material auxiliar*

En el Análisis económico financiero, y en el modelo en Excel desarrollado a tal efecto en este Estudio, se establece la distribución de anualidades de su adquisición y los años en los que son necesarios su ampliación y renovación.

Las unidades necesarias, para cada tipo de composición, son las siguientes:

- Tren de socorro. Se considera una unidad para toda la línea.
- Locomotoras diésel. Se consideran cuatro locomotoras para las operaciones de mantenimiento de vía, remolque de trenes en caso de incidencia el suministro de energía, y remolque del tren de socorro. Una más en cada extremo de la línea y otra para asegurar la actuación rápida en caso de corte de corriente. Por último, para asegurar la disponibilidad del parque diésel anterior, su mantenimiento y cubrir posibles accidentes, se considera una locomotora de reserva.

Por tanto, en total, se consideran 8 locomotoras diésel.

- Locomotoras eléctricas. Se contabilizan 6 locomotoras para abrir la línea antes de la primera circulación comercial y después de los trabajos nocturnos de mantenimiento de vía. La reserva de este parque queda asegurada con otra locomotora.

Por tanto, en total, se consideran 7 locomotoras eléctricas.

El coste del material auxiliar considerado según estimaciones realizadas en diversos estudios, entre los que se encuentra el “Estudio de Optimización funcional de la línea de alta velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – frontera francesa” del Ministerio de Fomento, ha sido: locomotora eléctrica a 2.984.373 € / unidad, locomotora diésel a 2.808.822 € / unidad y tren de socorro a 2.106.616 € / unidad. Por tanto, la inversión necesaria durante los años de construcción asciende a 45,467 M €.

6.1.3 Talleres y Bases de Mantenimiento

Los costes considerados para cada taller según estimaciones realizadas en diversos estudios, entre los que se encuentra el “Estudio de Optimización funcional de la línea de alta velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – frontera francesa” del Ministerio de Fomento, ascienden a 4,825 M € y para cada base de mantenimiento a 4,135 M €. Por tanto, la inversión total necesaria asciende a 93,157 M €.

La cuantía y distribución de cada uno de ellos, es la siguiente:

6.1.3.1 *Talleres*

En la determinación de su capacidad se tiene en cuenta que, dado que las operaciones que efectúan inmovilizan necesariamente el material durante más de un día y hasta dos semanas, sus actividades se programarán de modo que durante el período superpunta de tráfico, estarán vacíos encontrándose el material disponible, a excepción de las reservas en circulación y con doble turno para las reparaciones de nivel 2.

En el año 2008, inicio de la puesta en servicio, se tienen los siguientes datos:

Tabla 27. Talleres necesarios año de puesta en servicio

Intervalo (km)	Reparaciones (limitadas, nivel 1 y 2)
	787.500
Inmovilización (semanas)	3,5
Semanas * año / puesto	188
Recorrido anual (km)	1.325.000
Puestos de revisión	1,88

Fuente: Elaboración propia sobre datos del Ministerio de Fomento

Por su parte, para el año 2015 se tienen los siguientes datos:

Tabla 28. Talleres necesarios año 2015

Intervalo (km)	Reparaciones (limitadas, nivel 1 y 2)
	787.500
Inmovilización (semanas)	3,5
Semanas * año / puesto	188
Recorrido anual (km)	2.300.000
Puestos de revisión	3,28

Fuente: Elaboración propia sobre datos del Ministerio de Fomento

La siguiente tabla presenta los datos para el año 2025.

Tabla 29. Talleres necesarios año 2025

Intervalo (km)	Reparaciones (limitadas, nivel 1 y 2)
	787.500
Inmovilización (semanas)	3,5
Semanas * año / puesto	188
Recorrido anual (km)	3.000.000
Puestos de revisión	4,26

Fuente: Elaboración propia sobre datos del Ministerio de Fomento

6.1.3.2 Bases

En la determinación de su capacidad se considera que para las operaciones más frecuentes se trabaja a doble turno los días laborables, con uno de los turnos necesariamente de noche; a turno sencillo los fines de semana, día o noche según sea más conveniente; y a 1,5 turnos los días festivos.

Para el resto de operaciones realizadas en las bases, inspecciones de seguridad y confort, se considera un solo turno los días laborables.

Para el año 2008, inicio de la puesta en servicio, se tiene:

Tabla 30. Bases de Mantenimiento necesarios año puesta en servicio

Intervalo (km)	Inspecciones (servicio, confort y seguridad)
	18.000
Inmovilización (semanas)	1,5
Semanas * año / puesto	875
Recorrido anual (km)	1.325.000
Puestos de revisión	8,63

Fuente: Elaboración propia sobre datos del Ministerio de Fomento

En el año 2015 se tiene los siguientes datos:

Tabla 31. Bases de Mantenimiento necesarios año 2025

Intervalo (km)	Inspecciones (servicio, confort y seguridad)
	18.000
Inmovilización (semanas)	1,5
Semanas * año / puesto	875
Recorrido anual (km)	2.300.000
Puestos de revisión	15,05

Fuente: Elaboración propia sobre datos del Ministerio de Fomento

Por su parte, en el año 2025 se tiene los siguientes datos:

Tabla 32. Bases de Mantenimiento necesarios año 2025

Intervalo (km)	Inspecciones (servicio, confort y seguridad)
	18.000
Inmovilización (semanas)	1,5
Semanas * año / puesto	875
Recorrido anual (km)	3.000.000
Puestos de revisión	19,57

Fuente: Elaboración propia sobre datos del Ministerio de Fomento

6.2 Costes de implantación para el Hyperloop

Para el desarrollo del presente epígrafe, se parte de la información proporcionada por el documento *Hyperloop Alpha* del año 2013, en el que se indican los costes localizados para el corredor Los Ángeles – San Francisco, con una longitud total de 563 km.

No obstante, los costes que a continuación se exponen son modificados con respecto al documento referido con el objeto de trasladarlos a la realidad del corredor Madrid – Barcelona y, concretamente, para el trazado indicado en el epígrafe correspondiente de este Estudio, que cuenta con una longitud total de 550 km. Así mismo, tal y como se refleja en el estudio de demanda, epígrafe 5 de este Documento, la infraestructura necesaria debe tener dos tubos por sentido, en lugar de uno solo como refleja el documento *Hyperloop Alpha* para el corredor americano. Se indican en este apartado todos los costes en euros año 2013 para que se aprecie la equivalencia a los enumerados en el documento *Hyperloop Alpha*.

Se considera que la empresa o empresas encargadas de la implantación del Hyperloop en el corredor objeto de análisis traerían su producción y fabricación a España.

El presupuesto original del corredor americano confeccionado para una infraestructura de un tubo por sentido y 40 vainas es el siguiente:

Figura 40. Costes totales Hyperloop

Table 8. Total cost of the Hyperloop passenger transportation system.

Component	Cost (million USD)
Capsule	54 (40 capsules)
Capsule Structure & Doors	9.8
Interior & Seats	10.2
Compressor & Plumbing	11
Batteries & Electronics	6
Propulsion	5
Suspension & Air Bearings	8
Components Assembly	4
Tube	5,410
Tube Construction	650
Pylon Construction	2,550
Tunnel Construction	600
Propulsion	140
Solar Panels & Batteries	210
Station & Vacuum Pumps	260
Permits & Land	1,000
Cost Margin	536
Total	6,000

Fuente: Hyperloop Alpha. Año 2013

6.2.1 Infraestructura (Tubo, estructuras, estaciones, expropiaciones, energía, etc...)

Con respecto al coste de la **construcción del tubo**, se considera un coste equivalente por unidad de longitud al indicado en el documento de referencia *Hyperloop Alpha*. Al adaptarlo a la longitud requerida por el trazado español (550 km) y a la necesidad de doblar el número de tubos debido a la demanda estimada, el coste ascendería a 567 M € por sentido. Por tanto, el coste total de construcción del tubo es igual a 1.135 M €.

De igual forma, debido a que se necesitan dos tubos por sentido y a que el trazado español tiene un relieve más ondulado que el americano por diversas cadenas montañosas y la consecución de diversas cuencas de ríos en Aragón y Cataluña, se exige que las estructuras consideradas necesiten unas **pilas** mayores, más reforzadas y de mayor altura. Para el cálculo de dicho coste se considera una correlación lineal en cuanto a los diámetros de las secciones y a los costes de construcción del documento de referencia *Hyperloop Alpha* con respecto a las dos tipos de pilas (tubos solo para personas, y para personas y mercancías) y a la nueva sección del tubo doble de 4,50 m. Además, por la diferencia de altura se considera un aumento del 15% sobre los costes anteriormente calculados. Todo lo anterior implica que el coste total de las pilas ascienda a 3.863 M€.

Con respecto a la **construcción de túneles**, el cálculo del coste de la nueva sección del tubo doble de 4,50 m, de forma análoga a lo indicado para las pilas, se realiza considerando la correlación lineal de los diámetros de las secciones y los costes de construcción de las secciones de túneles (tubos solo para personas, y para personas y mercancías). Además, el trazado montañoso (sobre todo en la parte de Cataluña) y la entrada a las estaciones, ubicadas en el centro de las ciudades de Madrid y Barcelona, incrementan el coste del trazado, considerando un aumento del 20% sobre los costes calculados para la nueva sección. Todo ello supone que el coste total de los túneles ascienda a 850 M€.

Para la **energía** y la **propulsión** se considera un coste equivalente al indicado en el documento de referencia *Hyperloop Alpha*. Por tanto, al ser bitubo por sentido, su coste total es el doble del coste

estimado en el documento anterior, adaptado a la longitud de 550 km. Todo ello supone que el coste total de propulsión del estator ascienda a 250 M€ y de los elementos de energía a 380 M€.

En relación al coste de **construcción y remodelación de las estaciones**, y a la **construcción de bombas de vacío** (zonas de buffer de vainas y zonas especiales de presurización y despresurización), se considera que la nueva configuración bitubo por sentido elevaría considerablemente el coste considerado en el documento *Alpha*. Se decide estimar el coste en relación al coste registrado por el AVE para la partida en cuestión, incrementándolo en un 20%. Todo ello supone que el coste total ascienda a 716 M€.

Sin embargo, con respecto a las **expropiaciones** (tanto por el precio de los terrenos como por el marco legal del propio proceso expropiatorio), el coste del Hyperloop en la ruta americana es muy elevado si se compara con el caso español. En este caso, se define una banda de 21 m de sección total de 550 km de longitud en el que el trazado, debido a los amplios radios necesarios, se aleja de los trazados de ferrocarril existentes. La sección transversal considerada está compuesta por 5 m de ancho de estructura más 16 m de zona de seguridad (la zona a expropiar considerada es la definida en la legislación española para transporte ferroviario de su proyección vertical más ocho metros a ambos lados).

Se estima un total de 15% de suelo urbano a un coste de entre 100 y 200 €/m² y el resto de suelo rústico con un coste de entre 3 y 7 €/m², lo que supone que el coste total de expropiaciones ascienda a 327 M€.

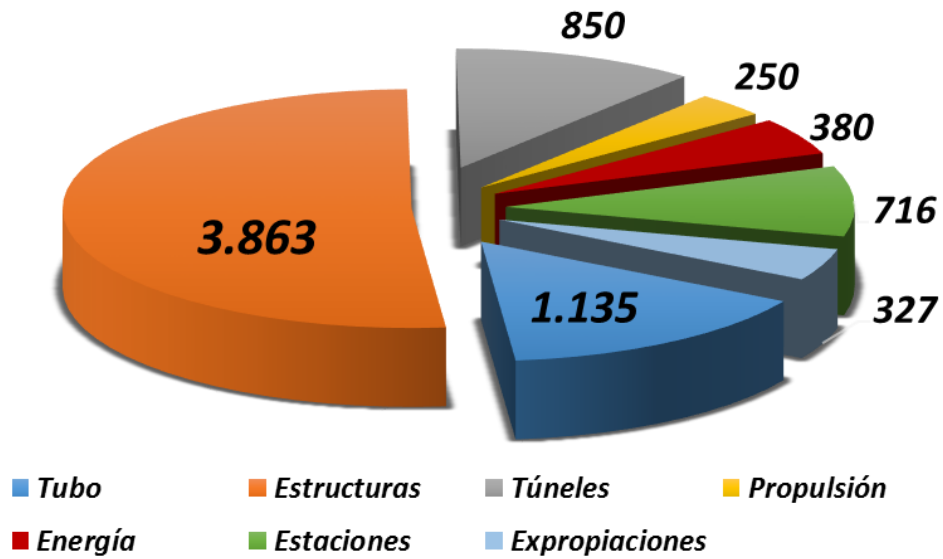
Por tanto, el coste total considerado, en M€ año 2013, es el siguiente:

Tabla 33. Costes construcción infraestructura

Costes Construcción infraestructura (millones de € ₂₀₁₃)	
Tubo	1.135
Estructuras	3.863
Túneles	850
Propulsión	250
Energía (paneles solares y baterías)	380
Estaciones	716
Expropiaciones	327
TOTAL	7.521

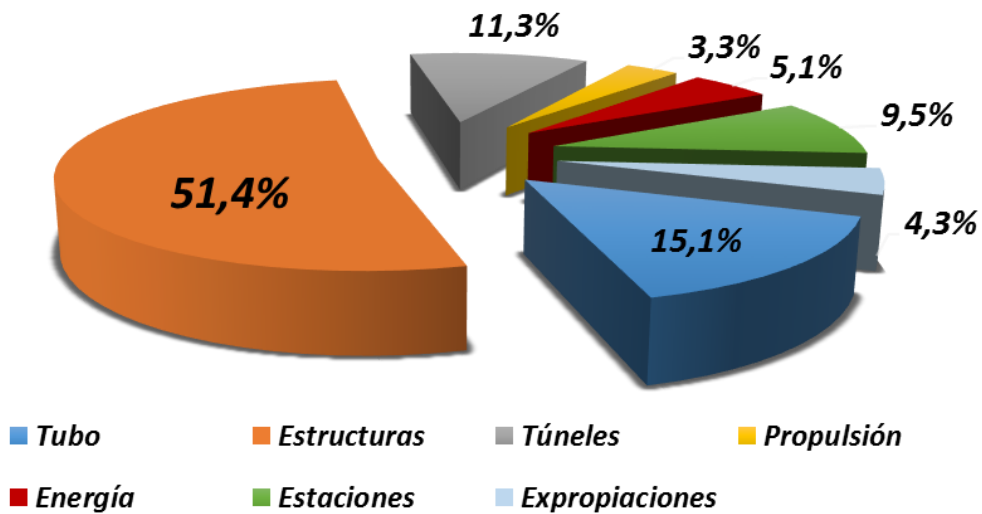
Fuente: Elaboración propia

Figura 41: Desglose costes construcción Tubo (M € año 2013)



Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Desglose porcentajes costes construcción Tubo



Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Vaina

El presupuesto original de cada vaina en la propuesta del corredor americano (para la composición de 28 pasajeros), es el siguiente:

Figura 43: Coste vaina de pasajeros

Vehicle Component	Cost (\$)
Capsule Structure & Doors:	\$ 245,000
Interior & Seats:	\$ 255,000
Propulsion System:	\$ 75,000
Suspension & Air Bearings:	\$ 200,000
Batteries, Motor & Coolant:	\$ 150,000
Air Compressor:	\$ 275,000
Emergency Braking:	\$ 50,000
General Assembly:	\$ 100,000
Passengers & Luggage:	N/A
Total/Capsule:	\$ 1,350,000

Fuente: Hyperloop Alpha. Año 2013

Se parte de una inversión necesaria de 185 vainas para su explotación en el año 2008. El coste considerado es equivalente al indicado en el documento de referencia *Hyperloop Alpha*, lo que eleva dicho coste hasta los 1,205 M€/unidad y 43.049 €/plaza (€ de 2013). Por tanto, la inversión necesaria durante los años de construcción asciende a 223 M €.

6.2.3 Material Auxiliar

En los costes de la propuesta del corredor americano no se incluye ningún tipo de vehículo de auscultación para supervisión ni del tubo ni del sistema de movimiento de la vaina en el interior del tubo. Para el desarrollo del presente Estudio se decide considerar una serie de vehículos de auscultación, robotizados y automatizados, para el control de la instalación del Hyperloop.

Dichos vehículos, deben realizar comprobaciones de:

- Ensamblaje, alineación y soldaduras de los tubos de acero.
- Condiciones de presurización y temperatura del interior del tubo.
- Estado y condiciones de los raíles, elementos y equipos del movimiento de la vaina en suspensión sobre rodamientos de aire.
- Sistemas de propulsión de los tubos.
- Telecomunicaciones.

Dado que no existe ningún tipo de información sobre este tipo de vehículos, se estima que el coste de inversión de un vehículo de auscultación es un 200% respecto al coste de una vaina (2,41M € año 2013). Se considera una inversión total de 35 vehículos auxiliares para cada línea de tubos de ida y vuelta (en total 70 unidades), 30 unidades inicialmente y el resto, 10 vehículos cada cinco años hasta el total. El valor total de inversión estimado es 167,57 M€ año 2013.

6.2.4 Talleres de Mantenimiento

Dado que no existe ningún tipo de información sobre este tipo de instalaciones se estima que el coste de inversión de un taller de mantenimiento de vainas de Hyperloop es dos veces superior respecto al coste de las instalaciones del AVE (9,650 M € año 2003). Debido al alto número de vainas que se necesitan para el servicio se considera una inversión de 12 talleres, seis inicialmente y otros seis en el año quince de explotación. El valor total de inversión estimado es 115,80 M € año 2003.

6.3 Tabla Resumen de Costes de implantación

Se presentan en la siguiente tabla un resumen de los costes de implantación del AVE.

Tabla 34. Resumen costes implantación AVE en € año 2003

Activo	Total	Ratio
Total	8.998,88 M €	14,49 M €/km línea vía doble
Construcción	8.120,25 M €	
Construcción infraestructura	7.664,38 M €	12,34 M €/km línea vía doble
Construcción y remodelación estaciones	455,85 M €	
Material rodante	785,47 M €	
Trenes viajeros	740 M €	25,814 M €/unidad. 63.896,29 €/plaza.
Material Auxiliar	45,47 M €	
• Locomotoras eléctricas	28,89 M €	2,98 M € / unidad
• Locomotoras eléctricas	22,47 M €	2,808 M € / unidad
• Tren de socorro	2,106 M €	2,106 M € / unidad
Talleres y bases de mantenimiento	93,157M €	
• Talleres	14,475 M €	4,825 M € / unidad
• Bases	78,682 M €	4,135 M € / unidad

Fuente: Elaboración propia

Se presentan en la siguiente tabla un resumen de los costes de implantación del Hyperloop.

Tabla 35. Resumen costes implantación Hyperloop en € año 2003

Activo	Total	Ratio
Total	6.159,97 M €	
Construcción	5.745,02 M €	
Construcción infraestructura	5.198 M €	9,45 M €/km línea de dos tubos dobles.
Construcción y remodelación estaciones	547,02 M €	
Vaina	170,29M €	920.000 €/vaina. 32.883 €/plaza.
Material Auxiliar	128,86 M €	1,84 M € / unidad
Talleres de mantenimiento	115,80 M €	9,65 M€ / unidad

Fuente: Elaboración propia

7 Análisis de Costes de Explotación

El presente epígrafe recoge la estimación de los costes de mantenimiento, operación y explotación, tanto del AVE como del Hyperloop, para todo el horizonte del estudio.

7.1 Costes de explotación para el AVE

7.1.1 Mantenimiento de la infraestructura (plataforma y superestructura)

El mantenimiento de las líneas de alta velocidad se realiza "según estado", es decir, con supervisión continua y con un peso importante del mantenimiento preventivo y predictivo, con objeto de maximizar la seguridad y fiabilidad de las circulaciones, disminuir el número de incidencias y evitar un mayor coste en el mantenimiento correctivo. Este tipo de mantenimiento implica el uso de avanzados sistemas de auscultación embarcados en el material rodante que en el caso de LAV está completamente externalizado, salvo un mínimo personal de gestión de ADIF.

Una parte relevante de estos costes de explotación es fija, pues depende de trabajos habituales que se realizan de forma periódica e independientemente del volumen de tráfico, con el fin de mantener los estándares prefijados del nivel de servicio y seguridad. Es importante resaltar la velocidad de explotación del servicio, porque un cambio de 300 km/h a 350 km/h supone un incremento considerable en los costes de explotación.

Otra parte de los gastos de mantenimiento (especialmente la que se refiere a las vías, a los sistemas de electrificación y señalización) sí está afectada por la intensidad de uso (por ejemplo, número de trenes diarios), aunque también las inclemencias del tiempo y los fenómenos naturales (lluvias, fuegos, tormentas, etc.) pueden condicionarlos.

De acuerdo con las estadísticas de la UIC, 2006, y Campos Méndez, De Rus, & Barrón de Angoití, 2009, la proporción de los costes de personal dentro del total de costes se sitúa alrededor del 55% dentro del mantenimiento de los sistemas de tracción eléctrica, en el 45% en el caso del mantenimiento de vías, y en el 50% en el mantenimiento del resto de equipos.

Según estimaciones realizadas en diversos estudios, entre los que se encuentra el "Estudio de Optimización funcional de la línea de alta velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – frontera francesa" del Ministerio de Fomento, en las líneas de Alta Velocidad en general, el mantenimiento de la plataforma y vía representa entre un 35% y un 67% de los costes totales de mantenimiento para la alta velocidad, mientras que los costes de señalización varían entre un 10% y un 35% del total. Los costes de electrificación y otros mantienen unas participaciones más pequeñas.

Hay que destacar el capítulo de señalización de alta velocidad ERTMS, por otra parte obligatorio por motivos de interoperabilidad europeos (muy ligado a la seguridad y regularidad de las circulaciones), cuyo mantenimiento es aproximadamente entre el 30 % y el 40 % del total del gasto, dependiendo de la línea de alta velocidad.

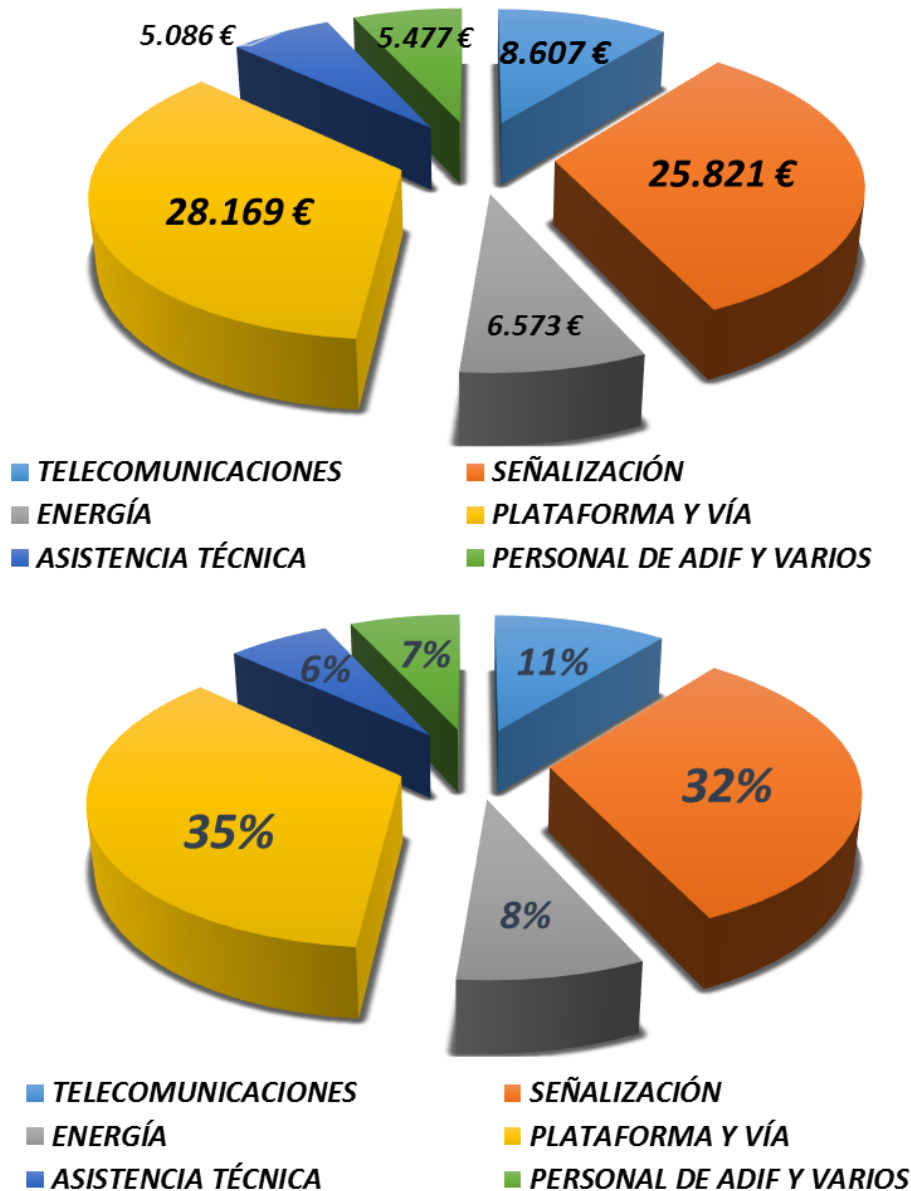
Las comunicaciones vía radio GSMR son necesarias también en líneas de alta velocidad, ya que aseguran el funcionamiento del ERTMS nivel 2 y la comunicación entre trenes y agentes de mantenimiento con el puesto de mando de circulación. El coste de mantenimiento de este subsistema equivale aproximadamente a un 10 % del total del gasto de mantenimiento.

Así mismo, el mantenimiento de la energía se subdivide en línea aérea de contacto, y el mantenimiento de subestaciones (ratio variable en función del nº de estas instalaciones en la línea), con un coste aproximado de entre el 5 y 10% del total del gasto de mantenimiento.

En total, el coste anual de línea del mantenimiento de la infraestructura se eleva a 79.732,85 €/km en euros constantes del año 2003, que se desglosan de la forma siguiente:

- Mantenimiento de plataforma y vía: 35 % del total del coste de mantenimiento (28.169 €/km).
- Señalización: 32 % del total del coste de mantenimiento (25.821 €/km).
- Telecomunicaciones: 11 % del total del coste de mantenimiento (8.607 €/km).
- Energía: 8 % del total del coste de mantenimiento (6.573 €/km).
- Otros: Asistencias técnicas y personal de ADIF y varios el resto.

Figura 44: Desglose costes Mantenimiento infraestructura AVE (€ año 2003)



Fuente: Elaboración propia

Los datos anteriores se corroboran mediante otros estudios más actuales como el “Estudio de los costes totales, incluyendo externalidades, del AVE. Aplicación al caso Barcelona – Madrid y comparación con otros modos de transporte” de D. Francisco Juan Salado Benítez, donde se muestran los mismos costes de mantenimiento desglosados en otros conceptos. Se puede observar que los costes de reparación y comerciales así como los de comisiones, seguros y los costes fijos indirectos son unos costes fijos y no dependen de la longitud de la línea. Los costes de reparación se entienden por un mantenimiento de los trenes si hubiera alguna partida extraordinaria por una avería grave puntual de algún tren que no se ha tenido en cuenta en la partida de mantenimiento de las ramas. Las partidas de mantenimiento de las ramas, energía, conducción y acompañamiento y la más importante, el mantenimiento de la infraestructura varían en función de la longitud.

Tabla 36. Costes explotación € ctes año 2010

Concepto		Madrid-Barcelona (300 Km/h)
Costes de explotación (millones €)	Mantenimiento de las ramas	16,61
	Reparación y costes comerciales	21,51
	Energía	20,97
	Empleados	20,16
	Mantenimiento de la infraestructura	39,80
	Conducción y acompañamiento	3,42
	Comisiones y seguros	11,78
	Costes fijos indirectos	7,01
	Total	101,46

Fuente: “Estudio de los costes totales, incluyendo externalidades, del AVE. Aplicación al caso Barcelona – Madrid y comparación con otros modos de transporte”

7.1.2 Material móvil

El funcionamiento operativo del material móvil conlleva cuatro tipos principales de costes (Campos Méndez, De Rus, & Barrón de Angoití, 2009):

- Enganche y operación de los trenes (principalmente, costes laborales de la tripulación y del personal encargado de gestionar la circulación).
- Mantenimiento del material rodante y resto de equipos auxiliares.
- Gastos de energía.
- Costes administrativos y asociados a la comercialización de los servicios.

Este último componente varía mucho entre los operadores y resulta difícil desagregarlo por líneas o proyectos; depende del volumen de tráfico, e incluye el personal de ventas, administración y comercialización, los gastos promocionales, etc.

El resto de partidas dependen de la tecnología de los trenes. Aunque cada modelo de tren posee unas características técnicas diferentes (en términos de longitud, composición, masa, peso, potencia, tracción, oscilación, etc.), las características más relevantes desde el punto de vista económico son la capacidad y velocidad, así como su coste estimado de adquisición por asiento. Además de la

tecnología, los costes de operación del material rodante pueden verse afectados por factores como la longitud de la ruta como o los requerimientos que hay sobre la tripulación mínima.

7.1.2.1 *Mantenimiento material Móvil*

El coste del mantenimiento del material móvil se calcula a partir de los trenes*km recorridos por cada rama, ya sea en composición doble o sencilla. En este Estudio, según estimaciones realizadas en diversos documentos, entre los que se encuentra el “Estudio de Optimización funcional de la línea de alta velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – frontera francesa” del Ministerio de Fomento, el coste considerado en euros del año 2003 (incluyendo operaciones de estética y confort cada 8 años) para cada tren es de 4 € / tren – km y para el mantenimiento del material rodante auxiliar es de 0,55 € / tren – km.

7.1.2.2 *Energía consumida material Móvil*

Para la estimación del consumo de energía se emplea la herramienta de simulación ALPI2810 en su versión 9, desarrollada por el Grupo de estudios e investigación de energía y emisiones en el transporte de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

El modelo de simulación se basa en el balance de energías del tren:

$$\text{Energía que entra al tren} = \text{Energía que sale del tren} + \text{Pérdidas}$$

Y ello:

- En un recorrido circular (con origen y final en el mismo punto y, por ello, sin diferencia de altitud entre los extremos del recorrido),
- con las características del servicio de que se trate, y
- con salida y llegada a velocidad de 0 km/h.

La energía que entra en el tren en el recorrido es la suma de:

- Energía necesaria para vencer la resistencia al avance en recta y en curva.
- Energía perdida en el rendimiento de la cadena de tracción y auxiliares.
- Energía disipada en el freno.
- Energía consumida por los servicios auxiliares (incluyendo los tiempos de parada asociados al ciclo).

En el caso de los trenes de tracción eléctrica con freno regenerativo, a esta suma hay que restar:

- Energía eléctrica generada en el freno, tanto si se emplea para la alimentación de equipos, como si se devuelve a la catenaria o a la red, o si se disipa en las resistencias de frenado por no admitirla la red.

La simulación se realiza para un tren de la Serie 103 en composición simple. Se supone un aprovechamiento del 69,2% (considerado para realizar el Plan de flota). Se simula el servicio Madrid-Barcelona directo y con velocidad máxima 300 km/h. Se considera un coste de 0,082 €/kWh (año 2015).

El resultado final es que el consumo de energía medido a la salida de la subestación es de 18 kWh/tren-km; por lo que se considera un coste de 1,11 €/tren.km (año 2003).

7.1.2.3 *Personal material Móvil*

El coste de personal se establece a partir de los trenes*hora. Se tiene en cuenta la presencia de un maquinista y uno o dos acompañantes según que la composición sea sencilla o doble.

En el presente Proyecto, según estimaciones realizadas en diversos estudios, entre los que se encuentra el “Estudio de Optimización funcional de la línea de alta velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – frontera francesa” del Ministerio de Fomento, el coste considerado es de 0,60 €/tren.km (año 2003).

7.1.3 Estaciones

7.1.3.1 *Mantenimiento Estaciones*

En el presente Proyecto, según estimaciones realizadas en diversos estudios, entre los que se encuentra el “Estudio de Optimización funcional de la línea de alta velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – frontera francesa” del Ministerio de Fomento, se considera que para las estaciones de Madrid – Atocha, Zaragoza y Barcelona-Sants, el coste supone 3.300.000 € / año (año 2003).

7.1.3.2 *Personal Estaciones*

Según estimaciones realizadas en diversos estudios, entre los que se encuentra el “Estudio de Optimización funcional de la línea de alta velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – frontera francesa” del Ministerio de Fomento, considerando tres turnos de personal, el coste supone 3.850.000 € / año (año 2003) para las estaciones de Madrid – Atocha, Zaragoza y Barcelona-Sants.

7.1.4 Otros (Estructura, comisiones, seguros, etc...)

Según las estimaciones realizadas en diversos proyectos, entre los que se encuentra el “Estudio de Optimización funcional de la línea de alta velocidad Madrid – Zaragoza – Barcelona – frontera francesa” del Ministerio de Fomento, se incluyen los siguientes conceptos:

- Coste de ventas, comisiones, seguros, catering, etc.: 8% de los ingresos netos.
- Seguros de material rodante: 16.284,54 € tren (año 2003).
- Costes de estructura: 10 M€ / año (año 2003).
- Servicios en los talleres: 2.804.664,66 € / año (año 2003).
- Servicios en oficinas y estaciones: 2.873.977,39 € / año (año 2003).

7.2 **Costes de explotación para el Hyperloop**

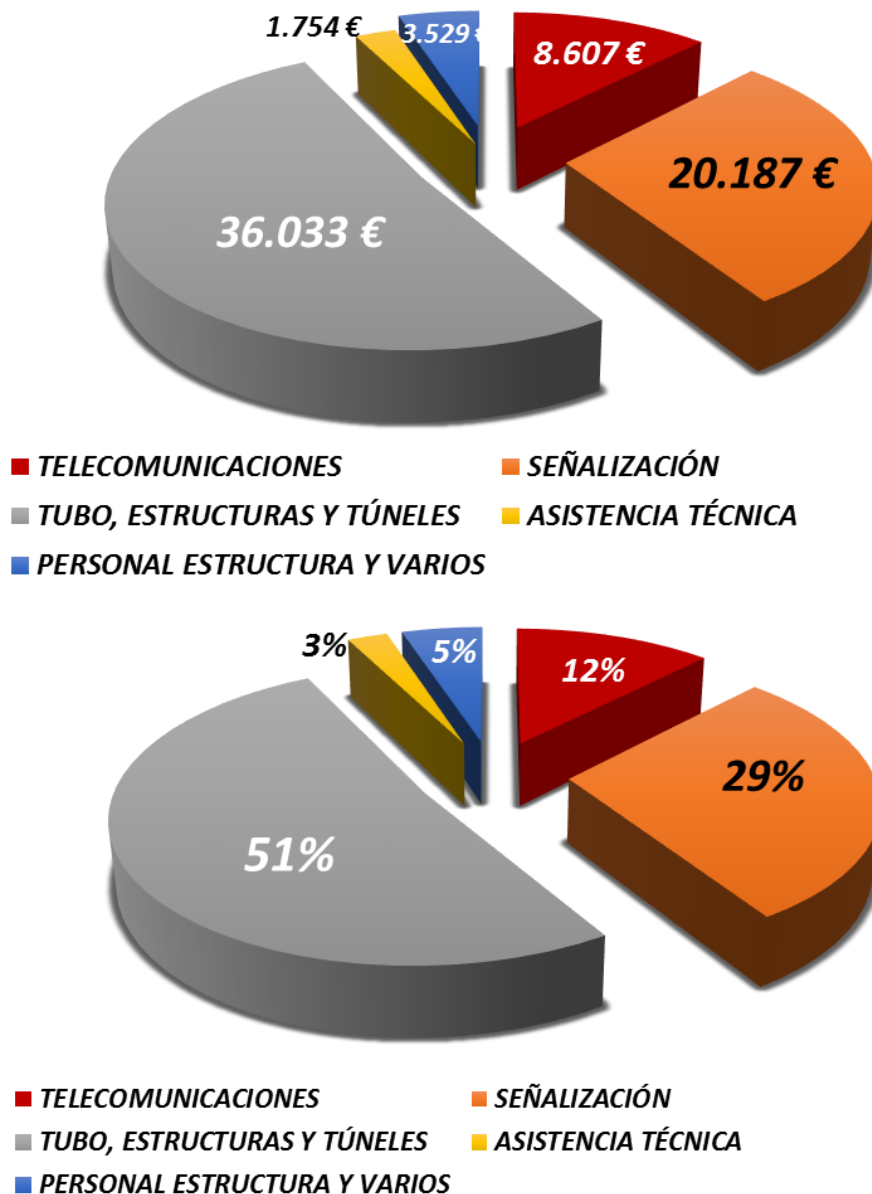
Dado que no existe información sobre los costes de explotación del Hyperloop en ningún documento técnico, para el desarrollo del presente Proyecto se decide realizar las estimaciones necesarias, teniendo en cuenta, para ello, los distintos costes identificados para el AVE del epígrafe anterior.

7.2.1 Mantenimiento de la Infraestructura

En total, el coste anual del mantenimiento de la infraestructura se eleva a 70.109 €/km que se desglosan de la forma siguiente:

- **Mantenimiento del tubo, túneles y estructuras:** Se estima que, al necesitarse un bitubo por sentido, el coste de mantenimiento equivaldría aproximadamente al 125% del total del coste de mantenimiento de plataforma y vía considerado en el AVE (36.033 €/km), debido a todas las auscultaciones del acero de los tubos, y del hormigón de las estructuras (radiografías, termografías, condiciones de temperatura y presurización, control de fisurizaciones, neoprenos, etc.). Aunque todos los procesos estarán prácticamente automatizados, el mayor número de ensayos de alta tecnología encarece el coste final.
- **Señalización:** Se considera un 75% del total del coste de mantenimiento considerado en el AVE (20.187 €/km). Se estima que aunque se necesita una mayor tecnificación del sistema debido a la altísima velocidad que llevará en la mayoría del trayecto, la automatización completa del proceso abarata el coste final.
- **Telecomunicaciones:** Se considera un 100% del total del coste de mantenimiento considerado en el AVE (8.607 €/km). Se estima que el coste puede ser similar al que se realiza actualmente en el AVE.
- **Energía:** En el documento *Alpha* se considera que el Hyperloop es autosuficiente energéticamente. En el presente Estudio, con demandas inferiores a las indicadas en el referido documento, se considera de igual forma que el Hyperloop es autosuficiente mediante la alimentación de las placas solares y las baterías que incorporan las vainas, por lo que no es necesaria energía externa.
- **Otros:** Asistencias técnicas y personal estructura y varios: Se estima que el coste puede ser el 50% del total del coste de mantenimiento considerado en el AVE (5.281,50 €/km).

Figura 45: Desglose costes Mantenimiento infraestructura Hyperloop (€ año 2003)



Fuente: Elaboración propia

7.2.2 [Material móvil](#)

7.2.2.1 *Mantenimiento material Móvil*

El coste del mantenimiento del material móvil se calcula a partir de las vainas*km recorridos. El coste considerado es del 50% del coste del mantenimiento del AVE (considerando las distintas capacidades de cada uno de los transportes). Por tanto, el coste anual ascendería a 0,14 € / vaina – km.

Así mismo, el coste del mantenimiento de los vehículos de material auxiliar también se considera como 50% del coste considerado para los vehículos del AVE, por lo que el coste anual ascide a 0,019 € / vaina – km.

7.2.3 Estaciones

7.2.3.1 Mantenimiento Estaciones

Se considera que el coste supone el doble del considerado en el AVE debido sobre todo a las zonas de presurización-despresurización e instalaciones de los buffers. Por tanto, el coste para las tres estaciones ascendería a 6.600.000 € / año.

7.2.3.2 Personal Estaciones

Se considera el coste del personal estimado para el AVE en taquillas, seguridad, etc., más los necesarios para la limpieza y revisión de cada una de las cinco vainas que se acoplan en la estación en cuatro turnos de cuatro operarios. Por tanto, el coste para las tres estaciones ascendería a 13.500.000 € / año.

7.2.4 Otros (Estructura, comisiones, seguros, etc...)

Se incluyen costes equivalentes a los considerados para el AVE, a excepción del coste de los catering que se han eliminado:

- Coste de ventas, comisiones, seguros, etc: 7,75% de los ingresos netos.
- Seguros de material rodante: 1.129 € / vaina.
- Costes de estructura: 10,75 M€ / año al tener una mayor producción (pasajeros/km) que la propuesta para el AVE.
- Servicios en los talleres: 2.804.664,66 € / año.
- Servicios en oficinas y estaciones: 2.873.977,39 € / año.

7.3 Tabla Resumen de Costes de explotación

Se presentan en la siguiente tabla un resumen de los costes de explotación del AVE.

Tabla 37. Resumen costes Explotación AVE en € año 2003

Activo	Ratio
Mantenimiento infraestructura	79.732,85 € / KM AÑO
Plataforma y Vía	28.169 €/km año
Aparatos de señalización	25.821 €/km año
Telecomunicaciones	8.607 €/km año
Sistemas de energía	6.573 €/km año
Personal ADIF y otros	5.477 €/km año
Asistencia Técnica	5.086 €/km año
Material móvil	-
Mantenimiento	4 €/tren-km año (trenes) 0,55 €/tren-km año (mat. auxiliar)

Activo	Ratio
Energía	1,11 €/tren – km
Personal	0,60 €/tren – km
Estaciones	7.150.000 €/ año
Mantenimiento	3.300.000 €/ año
Personal	3.850.000 €/ año
Otros	-
ventas, comisiones, seguros, catering, etc.	8% ingresos netos
Seguros de material rodante	16.284,54 € / tren
Estructura	10 M €/año
Servicios en los talleres	2.804.664,66 € / año
Servicios y suministros en oficinas y estaciones	2.873.977,39 € / año

Fuente: Elaboración propia

Se presentan en la siguiente tabla un resumen de los costes de explotación del Hyperloop.

Tabla 38. Resumen costes Explotación Hyperloop en € año 2003

Activo	Ratio
Mantenimiento infraestructura	70.109 € / KM AÑO
Tubo, túneles y estructuras	36.033 €/km año
Aparatos de señalización	20.187 €/km año
Telecomunicaciones	8.607 €/km año
Personal Adif y otros	3.529 €/km año
Asistencia Técnica	1.754 €/km año
Material móvil	-
Mantenimiento	0,14 €/vaina-km año 0,019 €/tren-km año (mat. auxiliar)
Estaciones	8.525.000 €/ año
Mantenimiento	6.600.000 €/ año
Personal	13.500.000 €/ año
Otros	-
ventas, comisiones, seguros, etc	7,5% ingresos netos
Seguros de material rodante	1.129 € / vaina
Estructura	10,75 M €/año
Servicios en los talleres	2.804.664,66 € / año

Activo	Ratio
Servicios y suministros en oficinas y estaciones	2.873.977,39 € / año

Fuente: Elaboración propia

8 Análisis de Ingresos

En el presente epígrafe se desarrolla la estimación de los ingresos a generar por los dos medios de transporte durante el horizonte temporal del Estudio.

Siguiendo el modelo de trabajo presentado anteriormente, se analiza en primer lugar la evolución de los ingresos generados por el AVE en el corredor Madrid-Barcelona desde su puesta en servicio, en el año 2008, hasta la actualidad. Esta información se completa para los siguientes años a partir de una serie de hipótesis sobre la evolución futura de los ingresos que permita completar el análisis del sistema durante el plazo de explotación contemplado en este Estudio, de 25 años. Una vez se haya completado la información necesaria sobre los ingresos que generaría el AVE, se procede a analizar los ingresos que generaría el Hyperloop en el mismo corredor. De esta forma, las hipótesis de partida para estimar los ingresos del Hyperloop toman como base la información recogida en el análisis de los ingresos del AVE.

8.1 Ingresos generados por el AVE

Para analizar los ingresos que ha generado el AVE en el corredor Madrid-Barcelona desde su inauguración hasta la actualidad, es necesario realizar una serie de hipótesis y estimaciones, ya que no hay disponible documentación pública sobre el desglose de los ingresos que ha captado RENFE en cada uno de los corredores de Alta Velocidad que explota.

Asimismo, es necesario diferenciar entre los **ingresos generados por la venta de billetes a los pasajeros y otro tipo de ingresos relacionados con explotaciones comerciales**.

8.1.1 Ingresos generados por venta de billetes

Los ingresos generados por el AVE en el corredor Madrid-Barcelona se estiman tomando como base los datos históricos, y la estimación de demanda a futuro descrita en el epígrafe 5. Para convertir la demanda en ingresos, se utiliza la información pública disponible sobre la evolución histórica del ingreso medio por viajero.km, neto de IVA, publicada en el Informe 2014 del Observatorio del Ferrocarril en España, que se muestra a continuación.

Tabla 39. Percepción media por v.km (céntimos de euro por v.km) y precio por v.km larga distancia convencional y alta velocidad comercial (c€/v.km)

Año	Percepción media por viajero.kilómetro				Precio medio por viajero.kilómetro			
	c€/corrientes/v.km	% s/año ant.	c€2014/v.km	% s/año ant.	c€/corrientes/v.km	% s/año ant.	c€2014/v.km	% s/año ant.
1993	4,77		8,54		5,06		9,05	
1994	4,97	4,1	8,47	-0,8	5,27	4,1	8,98	-0,8
1995	5,10	2,5	8,32	-1,7	5,45	3,5	8,90	-0,8
1996	4,90	-3,9	7,70	-7,5	5,24	-3,9	8,24	-7,5
1997	4,95	1,1	7,56	-1,8	5,29	1,1	8,09	-1,8
1998	5,01	1,3	7,51	-0,7	5,36	1,3	8,04	-0,7
1999	5,33	6,2	7,86	4,7	5,70	6,2	8,41	4,7
2000	5,65	6,1	8,10	3,1	6,04	6,1	8,67	3,1
2001	6,05	7,2	8,38	3,4	6,48	7,2	8,96	3,4
2002	6,39	5,5	8,58	2,4	6,83	5,5	9,18	2,4
2003	6,67	4,4	8,63	0,6	7,13	4,4	9,24	0,6
2004	7,18	7,7	9,09	5,3	7,69	7,7	9,73	5,3
2005	7,67	6,7	9,41	3,5	8,20	6,7	10,07	3,5
2006	8,09	5,5	9,53	1,2	8,66	5,5	10,20	1,2
2007	8,60	6,3	9,89	3,8	9,20	6,3	10,59	3,8
2008	9,93	15,5	10,96	10,8	10,63	15,5	11,73	10,8
2009	9,96	0,3	10,91	-0,5	10,66	0,3	11,68	-0,5
2010	10,52	5,6	11,40	4,5	11,30	6,0	12,25	4,9
2011	11,08	5,3	11,62	1,9	11,97	5,9	12,55	2,5
2012	10,78	-2,7	11,10	-4,5	11,70	-2,2	12,04	-4,1
2013	9,66	-10,4	9,68	-12,7	10,63	-9,1	10,65	-11,5
2014	9,43	-2,5	9,43	-2,6	10,37	-2,5	10,37	-2,6

Fuente: RENFE. OFE 2014

Partiendo de la percepción media por viajero, y de la demanda de viajeros en los tres servicios considerados, se obtiene una estimación de los ingresos obtenidos por el AVE en el corredor Madrid-Barcelona entre los años 2008 y 2014, tal y como se muestra en la siguiente tabla. Para ello, se calcula previamente el precio medio del billete en cada uno de los tres servicios, multiplicando la percepción media por el número de kilómetros de cada servicio (307 km entre Madrid y Zaragoza y 621 km entre Madrid y Barcelona):

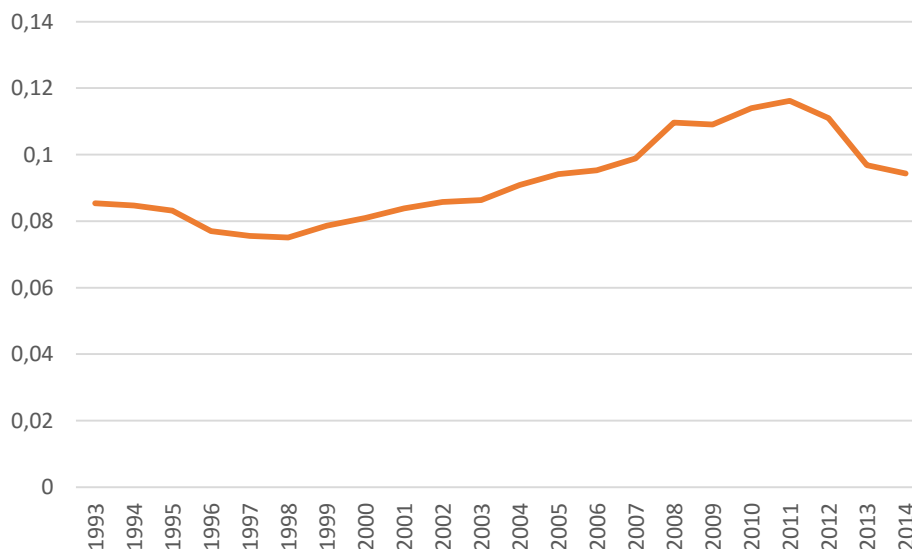
Tabla 40. Estimación de ingresos sobre los flujos de pasajeros desde 2008 hasta 2014

		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
ingreso medio por viajero.km (€ 2014)		0,1096	0,1091	0,114	0,1162	0,111	0,0968	0,0943
MADRID - BARCELONA	Demanda	2.109.943	2.670.407	2.597.435	2.545.907	2.688.502	3.070.184	3.442.607
	Precio billete	68,06 €	67,75 €	70,79 €	72,16 €	68,93 €	60,11 €	58,56 €
	Ingresos (€)	143.606.096	180.923.012	183.882.813	183.713.158	185.321.131	184.557.357	201.600.100
MADRID - ZARAGOZA	Demanda	1.704.483	1.363.509	1.258.121	1.175.053	1.087.143	1.176.841	1.277.422
	Precio billete	33,65 €	33,49 €	35,00 €	35,67 €	34,08 €	29,72 €	28,95 €
	Ingresos (€)	57.351.080	45.668.961	44.031.719	41.918.136	37.046.572	34.972.890	36.981.485
ZARAGOZA - BARCELONA	Demanda	563.925	589.855	612.569	600.511	566.306	623.555	723.256
	Precio billete	34,41 €	34,26 €	35,80 €	36,49 €	34,85 €	30,40 €	29,61 €
	Ingresos (€)	19.407.141	20.206.899	21.927.520	21.910.725	19.738.029	18.953.079	21.415.755
Ingresos Totales (€)		220.364.317	246.798.872	249.842.052	247.542.019	242.105.733	238.483.326	259.997.340

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de RENFE y de OFE 2014

Para la estimación de los ingresos futuros que generará el AVE en el corredor Madrid-Barcelona a partir de los últimos datos públicos disponibles (correspondientes al año 2014) es necesario combinar la estimación de la evolución futura de la demanda, calculada en el apartado *Estimación de la demanda a futuro del AVE*, con una estimación de los ingresos medios por viajero en el futuro. Es conveniente analizar la evolución histórica del ingreso medio por viajero en los servicios de larga distancia convencional y de alta velocidad con el objetivo de poder realizar estimaciones del comportamiento futuro. A continuación, se refleja un gráfico con la evolución de este parámetro desde la puesta en marcha del primer corredor de AVE.

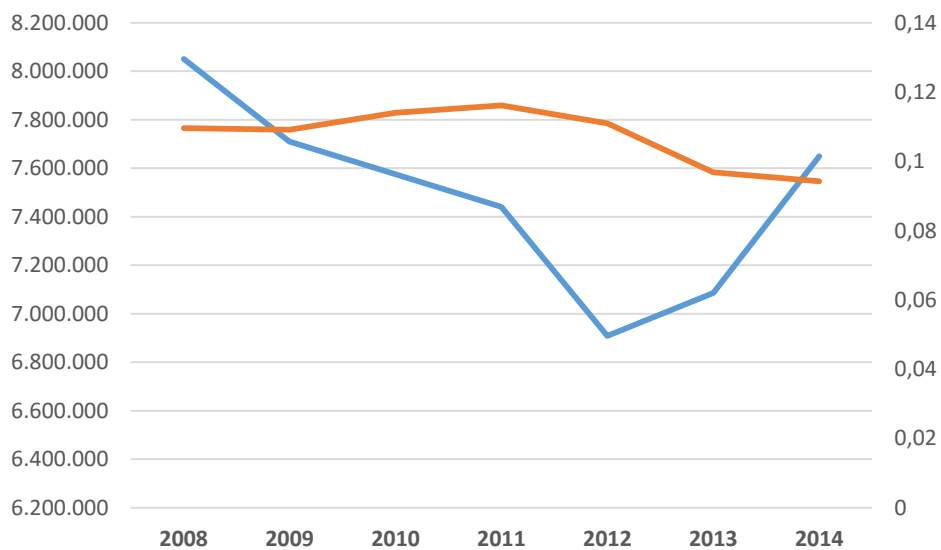
Figura 46. Evolución de los ingresos medios por viajero-km en € de 2014



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de RENFE y de OFE 2014

Como se puede percibir, el ingreso medio por viajero en la red de AVE ha ido aumentando paulatinamente desde su puesta en servicio, a medida que se iba consolidando la red. Sin embargo, a partir de 2011 RENFE asumió una política de “revenue management” con el objetivo de maximizar los ingresos totales a través de una gestión activa de los precios de los billetes de AVE. Esta modelo de gestión de precios tiene como objetivo maximizar la ocupación de los trenes, aunque para ello sea preciso disminuir sensiblemente el precio de algunos billetes, siguiendo el modelo de la gestión de precios de los billetes aéreos. Como se puede ver en la siguiente figura, esta política de precios ha tenido un efecto considerable sobre la demanda de los viajeros en el corredor Madrid-Barcelona.

Figura 47. Evolución de demanda en el corredor Madrid-Barcelona (eje izqd) frente a evolución de ingresos medios (eje dch)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de RENFE y de OFE 2014

Para estimar los ingresos medios en los próximos años, se debe suponer que RENFE no modificará su actual política de precios que, como se ha visto, le ha supuesto aumentar sensiblemente la demanda del AVE. En el marco de este Estudio se supondrá que los ingresos medios por viajero se mantendrán constantes durante los próximos años.

En base a estas estimaciones, la previsión de los ingresos generados por el AVE durante el plazo de análisis de este Estudio se refleja a continuación:

Tabla 41. Previsión de ingresos del AVE en el corredor Madrid-Barcelona entre los años 2015 y 2020

		2015	2016	2017	2018	2019	2020
MADRID - BARCELONA	Demanda	3.555.809	3.640.434	3.705.277	3.769.710	3.834.866	3.901.311
	Precio billete	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €
	Ingresos (€)	208.229.250	213.184.922	216.982.127	220.755.356	224.570.931	228.461.922
MADRID - ZARAGOZA	Demanda	1.319.427	1.350.828	1.374.889	1.398.797	1.422.974	1.447.629
	Precio billete	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €
	Ingresos (€)	77.266.024	79.104.887	80.513.887	81.913.990	83.329.806	84.773.606
ZARAGOZA - BARCELONA	Demanda	747.039	764.817	778.440	791.977	805.666	819.625
	Precio billete	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €
	Ingresos (€)	43.746.804	44.787.939	45.585.693	46.378.409	47.180.022	47.997.478
Ingresos Totales (€)		329.242.078	337.077.749	343.081.706	349.047.755	355.080.759	361.233.007

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Previsión de ingresos del AVE en el corredor Madrid-Barcelona entre los años 2021 y 2026

		2021	2022	2023	2024	2025	2026
MADRID - BARCELONA	Demanda	3.968.906	4.037.673	4.107.631	4.178.801	4.251.204	4.324.862
	Precio billete	58,56	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €
	Ingresos (€)	232.420.330	236.447.322	240.544.088	244.711.835	248.951.794	253.265.216
MADRID - ZARAGOZA	Demanda	1.472.711	1.498.228	1.524.187	1.550.595	1.577.462	1.604.793
	Precio billete	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €
	Ingresos (€)	86.242.422	87.736.687	89.256.842	90.803.336	92.376.625	93.977.173
ZARAGOZA - BARCELONA	Demanda	833.826	848.273	862.971	877.923	893.134	908.609
	Precio billete	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €
	Ingresos (€)	48.829.099	49.675.128	50.535.816	51.411.416	52.302.188	53.208.393
Ingresos Totales (€)		367.491.851	373.859.137	380.336.746	386.926.588	393.630.607	400.450.783

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Previsión de ingresos del AVE en el corredor Madrid-Barcelona entre los años 2027 y 2032

		2027	2028	2029	2030	2031	2032
MADRID - BARCELONA	Demanda	4.399.796	4.476.028	4.553.582	4.632.478	4.712.742	4.794.397
	Precio billete	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €
	Ingresos (€)	257.653.374	262.117.563	266.659.100	271.279.324	275.979.601	280.761.316
MADRID - ZARAGOZA	Demanda	1.632.598	1.660.885	1.689.662	1.718.938	1.748.721	1.779.020
	Precio billete	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €
	Ingresos (€)	95.605.453	97.261.945	98.947.138	100.661.529	102.405.625	104.179.939
ZARAGOZA - BARCELONA	Demanda	924.351	940.367	956.660	973.236	990.098	1.007.253
	Precio billete	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €	58,56 €
	Ingresos (€)	54.130.299	55.068.179	56.022.309	56.992.970	57.980.449	58.985.038
Ingresos Totales (€)		407.389.127	414.447.687	421.628.547	428.933.824	436.365.675	443.926.293

Fuente: Elaboración propia

8.1.2 Ingresos generados por otras líneas de negocio

Los ingresos referidos hasta ahora son los relacionados directamente con los pasajeros, a través de la venta de billetes. Sin embargo, la explotación del AVE es capaz de generar otro tipo de ingresos, que si bien, registran magnitudes inferiores, es necesario considerarlos. En este sentido, se nombran las siguientes fuentes de ingresos:

- **Explotación comercial.**
- **Publicidad.**
- **Aparcamientos.**
- **Fibra óptica.**

La descripción, así como el modelo de gestión y contratación de las líneas de negocio referidas son explicados en detalle en el epígrafe Otras estructuras de contratación de interés.

8.2 Ingresos generados por el Hyperloop

Al igual que sucede en el desarrollo de los ingresos del AVE, en el análisis del Hyperloop también se debe diferenciar entre dos tipos de ingresos: los generados directamente por la demanda de tráfico, mediante la venta de billetes, y aquellos generados a través de otras líneas de negocio de carácter comercial.

8.2.1 Ingresos generados por venta de billetes

Los ingresos que generaría el Hyperloop se calcularán a partir de la demanda que captaría este sistema, según lo definido en el epígrafe Demanda de tráfico para el Hyperloop. El valor que ingresaría el sistema por cada viajero transportado es difícil de estimar a priori, debido a que es un nuevo modo

de transporte que hasta el momento no está en operación y para el que, por tanto, no existen datos sobre el precio al que se ofertaría.

Como base de cálculo se analizarán los ingresos generados por el Hyperloop partiendo del valor de billete presentado por Elon Musk en el documento *Hyperloop Alpha* publicado en agosto de 2013, en el que se establece que:

Hyperloop could transport people, vehicles, and freight between Los Angeles and San Francisco in 35 minutes. Transporting 7.4 million people each way every year and amortizing the cost of \$6 billion over 20 years gives a ticket price of \$20 for a one-way trip for the passenger version of Hyperloop. The passenger only version of the Hyperloop is less than 9% of the cost of the proposed passenger only high speed rail system between Los Angeles and San Francisco.

Tomando como base de cálculo un precio del billete de 20 USD en el corredor Los Angeles – San Francisco (se entiende que libres de impuestos), se calculará el precio de partida para los billetes de los servicios en el corredor Madrid – Barcelona. El servicio valorado en el documento *Hyperloop Alpha* cubre el trayecto entre dos ciudades que se encuentran a 563 km, por lo que el precio del billete por kilómetro estaría en 0,036 \$/km. Para transformar este precio a euros se utilizará el tipo de cambio del día en que se publicó el documento *Hyperloop Alpha* (el 12 de agosto de 2013), obteniendo el precio del billete del Hyperloop de 0,027 €/km. En base a las distancias que recorrerá el Hyperloop entre las tres ciudades a las que dará servicio, según lo establecido en su epígrafe correspondiente, se obtienen los siguientes valores para los precios de los billetes en cada uno de los servicios contemplados:

Tabla 44. Estimación del precio de los billetes para Hyperloop

Precio del billete entre MAD y BCN	14,65 €
Precio del billete entre MAD y ZGZ	7,25 €
Precio del billete entre ZGZ y BCN	7,40 €

Fuente: Elaboración propia a partir de la datos de Hyperloop Alpha

A partir de estas hipótesis sobre el precio del billete del Hyperloop, y en base a las estimaciones de demanda, se obtienen las siguientes estimaciones de ingresos para el Hyperloop:

Tabla 45. Estimación de ingresos para el Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona. 2008-2016

€	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
MADRID - BARCELONA	90.180.851	93.150.040	92.005.695	91.474.664	86.685.466	89.213.507	96.249.704	99.414.651	101.780.632
MADRID - ZARAGOZA	16.965.225	13.561.306	12.518.452	11.660.232	10.787.887	11.677.974	12.676.052	13.092.874	13.404.473
ZARAGOZA - BARCELONA	5.719.354	5.982.337	6.212.703	6.090.411	5.743.502	6.324.124	7.335.296	7.576.500	7.756.814

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Estimación de ingresos para el Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona. 2017-2025

€	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
MADRID - BARCELONA	103.593.527	105.394.976	107.216.641	109.074.313	110.964.171	112.886.773	114.842.687	116.832.490	118.856.769
MADRID - ZARAGOZA	13.643.231	13.880.481	14.120.393	14.365.048	14.613.942	14.867.148	15.124.741	15.386.797	15.653.394
ZARAGOZA - BARCELONA	7.894.977	8.032.267	8.171.099	8.312.674	8.456.702	8.603.226	8.752.288	8.903.933	9.058.206

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Estimación de ingresos para el Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona. 2026-2032

€	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
MADRID - BARCELONA	120.916.121	123.011.154	125.142.487	127.310.747	129.516.576	131.760.623	134.043.552
MADRID - ZARAGOZA	15.924.610	16.200.525	16.481.221	16.766.780	17.057.287	17.352.827	17.653.488
ZARAGOZA - BARCELONA	9.215.151	9.374.816	9.537.247	9.702.493	9.870.601	10.041.623	10.215.607

Fuente: Elaboración propia

8.2.2 Ingresos generados por otras líneas de negocio

Los ingresos referidos en el epígrafe anterior son los relacionados directamente con los pasajeros, a través de la venta de billetes. Sin embargo, la explotación del Hyperloop, al igual que sucede con el AVE, es capaz de generar otro tipo de ingresos que igualmente es necesario tener en cuenta. En este sentido, se nombran las siguientes fuentes de ingresos:

- **Explotación comercial.**
- **Publicidad.**
- **Aparcamientos.**
- **Fibra óptica.**

La descripción, así como el modelo de gestión y contratación de las líneas de negocio referidas son explicados en detalle en el epígrafe Otras estructuras de contratación de interés.

BLOQUE B

9 Análisis Coste Beneficio

El presente estudio de Análisis Coste Beneficio (ACB) tiene por objeto realizar la valoración económico-social del proyecto del Hyperloop entre las poblaciones de Madrid y Barcelona, manteniendo como escenario base la realidad actual, es decir, el desarrollo del AVE. Se consigue de esta forma, evaluar y comparar la idoneidad, desde el punto de vista económico-social, de ambos proyectos.

La evaluación es resultante de la propia actividad del transporte, ya que ésta se caracteriza por la producción de efectos externos (beneficios y perjuicios) que afectan a agentes no intervinientes directamente en la operación de transporte.

Para la consecución de este objetivo, el presente apartado se estructura de acuerdo a los siguientes epígrafes:

- En el epígrafe 9.1 Fundamentos teóricos se describe la metodología que se utiliza para la evaluación del Análisis Coste Beneficio.
- En el epígrafe 9.2 Definición de escenarios se describen los dos escenarios contemplados.
- En el epígrafe 9.3 Marco de análisis se exponen los supuestos de partida empleados en el ACB: entre los que se encuentran las hipótesis y asunciones empleadas, los precios sombra o la valoración de efectos sin mercado de referencia.
- En los epígrafes 9.4 Excedente del productor, 9.5 Excedente de los usuarios y 9.6 Efectos externos se presentan los resultados de la evaluación coste-beneficio, diferenciando entre el impacto en los productores (excedente de los productores), impacto en los usuarios de los servicios (excedente de los usuarios) y los efectos externos, respectivamente.
- Finalmente, en el epígrafe 9.7 Conclusiones al ACB se presentan las principales conclusiones y resultados del estudio.

9.1 Fundamentos teóricos

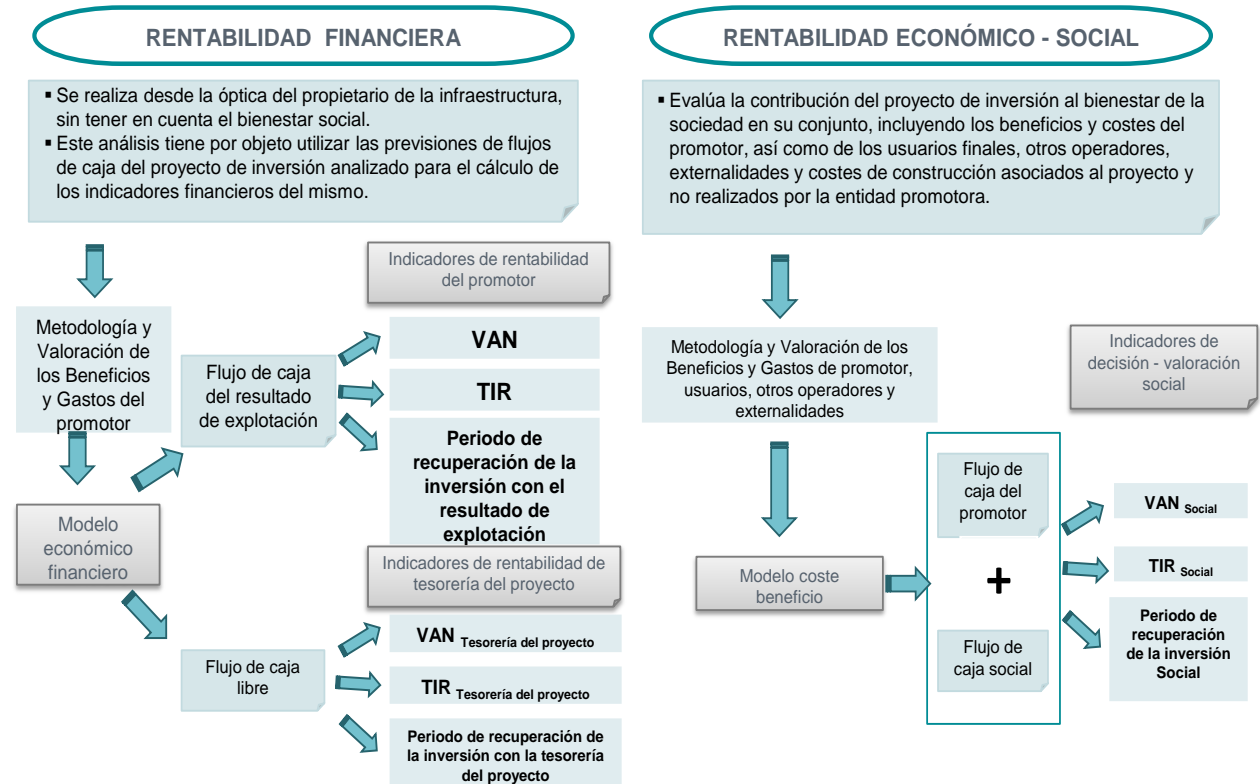
El Análisis Coste Beneficio (ACB) es una técnica que permite determinar el beneficio social neto de cualquier política económica o proyecto de inversión financiado con fondos públicos o privados. Se trata de una herramienta de trabajo que no está destinada a sustituir las decisiones políticas, sino a apoyarlas y dotarlas de contenido económico, eliminando en muchos casos la arbitrariedad a la que se enfrenta la inversión de fondos públicos (De Rus y Romero, 1995).

Determinar el beneficio social neto de una inversión en infraestructuras requiere comparar la corriente de beneficios y costes que se generan a lo largo de su vida útil con respecto a una situación de referencia que se toma como base para establecer el análisis. Para la actualización de esta corriente de beneficios y costes se utiliza una tasa social de descuento que refleja el umbral mínimo de rentabilidad que se le exige en una economía a los proyectos financiados con fondos públicos, esto es, el coste de oportunidad de los fondos invertidos (Layard and Glaister, 1994).

Si un proyecto presenta un beneficio social neto positivo sus beneficios sociales superan los costes sociales y, por tanto, es deseable socialmente.

El siguiente esquema muestra el propósito principal del Análisis Coste Beneficio, la metodología y los resultados en comparación con el análisis de rentabilidad financiera que también se acomete en el curso del presente Proyecto.

Figura 48. Comparación del análisis de rentabilidad financiera y de rentabilidad económico-social



Fuente: Elaboración propia

9.1.1 Efectos y agentes

Existen varias aproximaciones para identificar, exponer y cuantificar los beneficios y costes para la sociedad de un proyecto de inversión como éste, si bien, todas las aproximaciones deben conducir a un resultado equivalente.

En este Proyecto se sigue la aproximación recogida en el manual publicado por la Dirección General de Política Regional de la Comisión Europea: “Guide to Cost- Benefit Analysis of Investment Projects” de julio de 2008, además de apoyarse en otros documentos como: “External Costs of Transport in Europe- Update Study for 2008” (año 2011); “Manual para Evaluación Económica de proyectos de transporte” del Ministerio de Fomento-CEDEX de España (2010); “Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio, de estudios y proyectos de carreteras” del Ministerio de Fomento de España, en su actualización de 2010.

Algunos de los valores indicados en dichos documentos se han actualizado en base a la situación actual de la economía y de los mercados en España y más concretamente a la zona de influencia del corredor en cuestión.

Las ventajas de esta aproximación son las siguientes:

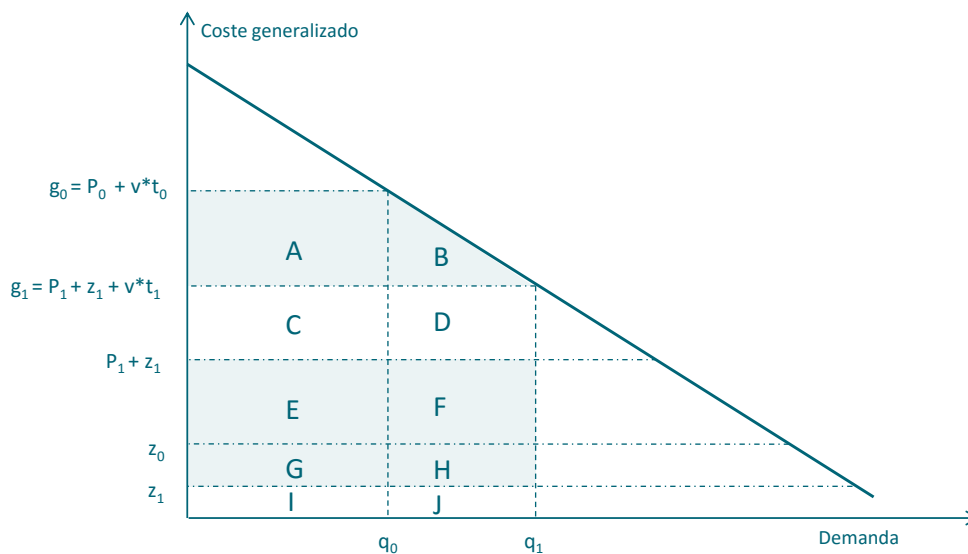
- Expone de forma clara los efectos de cada agente y evita el riesgo de doble contabilización de efectos en que se puede incurrir cuando se multiplican los impactos que se consideran.
- Permite la comparación de los resultados entre los proyectos definidos (AVE e Hyperloop).
- Facilita la evaluación de los proyectos (AVE e Hyperloop) por parte de las entidades políticas y financieras, lo que sería un requisito imprescindible en caso de que para su desarrollo se optase por acceder a algún tipo de financiación de organismos internacionales como pueda ser el Banco Europeo de Inversiones (BEI).

Los siguientes puntos exponen la identificación y análisis de los diferentes efectos y agentes involucrados en el ACB.

9.1.2 Los excedentes de los usuarios

El siguiente gráfico contribuye a visualizar los efectos que se describen y estiman a continuación. Sobre la base de una función de demanda de movilidad para un grupo de usuarios determinado, el proyecto implica una reducción en el coste generalizado del viaje ($g_i = p_i + z_i + v \cdot t_i$) al que se enfrentan los viajeros consistente en una reducción del tiempo de viaje (t) por su valoración correspondiente (v), más una reducción en los costes de operación de los vehículos (z), más un cambio en las tarifas monetarias (p) que tienen que abonar: paso de g_0 a g_1 .

Figura 49. Representación gráfica de impactos en el ACB



Fuente: Elaboración propia

Los beneficios generados por la construcción de la nueva infraestructura están representados en la figura según la siguiente tabla.

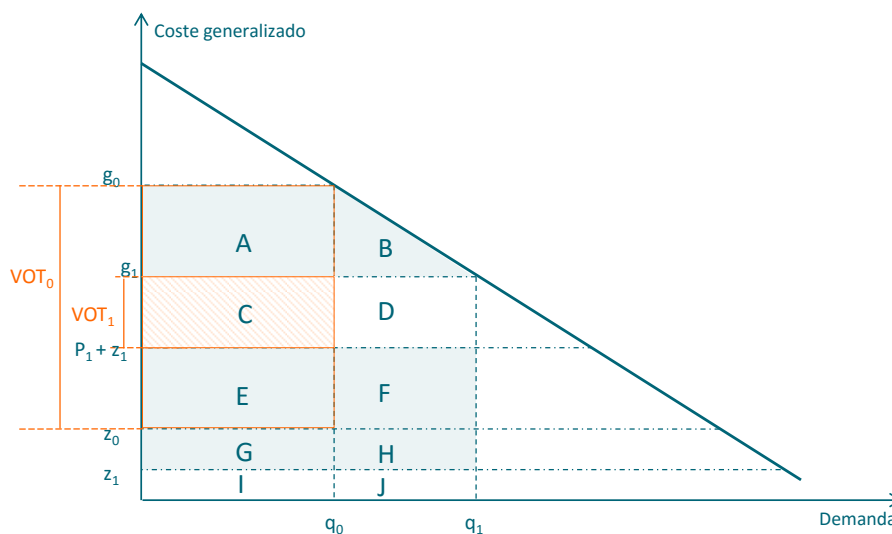
Tabla 48. Componentes gráficos del ACB

Componente	Área
Valor de tiempo ahorrado	A + E
Valor de coste operación ahorrado	G
Disposición a pagar – Nuevos viajeros	B + D + F + H + J
Coste de tiempo – Nuevos viajeros	-D
Costes operativos – Nuevos viajeros	-J

Fuente: Elaboración propia

El **valor del tiempo ahorrado** se corresponde con el ahorro del tiempo que tendrán los usuarios que actualmente usan la infraestructura, como resultado de una disminución de sus costes de tiempo. En la figura se observa como en la situación “Sin proyecto”, los costes de toda la demanda de transportes se corresponden a las áreas A+C+E. En la situación 0 “Con proyecto”, los costes de tiempo de la demanda inicial se reducen únicamente al área C, por lo que el beneficio obtenido por ahorro de tiempo son las áreas A+E.

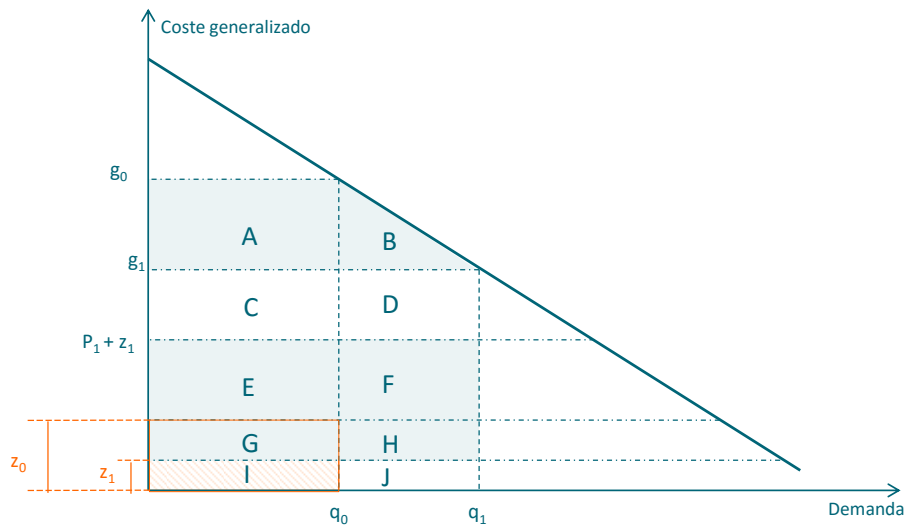
Figura 50. Representación gráfica de impactos en el ACB - Ahorros de tiempo



Fuente: Elaboración propia

El **ahorro de costes de operación** de los usuarios actuales se ve en la siguiente figura. El coste operativo en la situación 0 será el coste z_0 unitario, multiplicado por el total de la demanda q_0 anterior a la realización del proyecto (G+I). Como consecuencia de las mejoras en la infraestructura, los usuarios verán reducido su coste de operación a z_1 , por lo que su coste en la situación con proyecto será el área I. La diferencia de áreas será por tanto el ahorro de costes de operación que generará el proyecto.

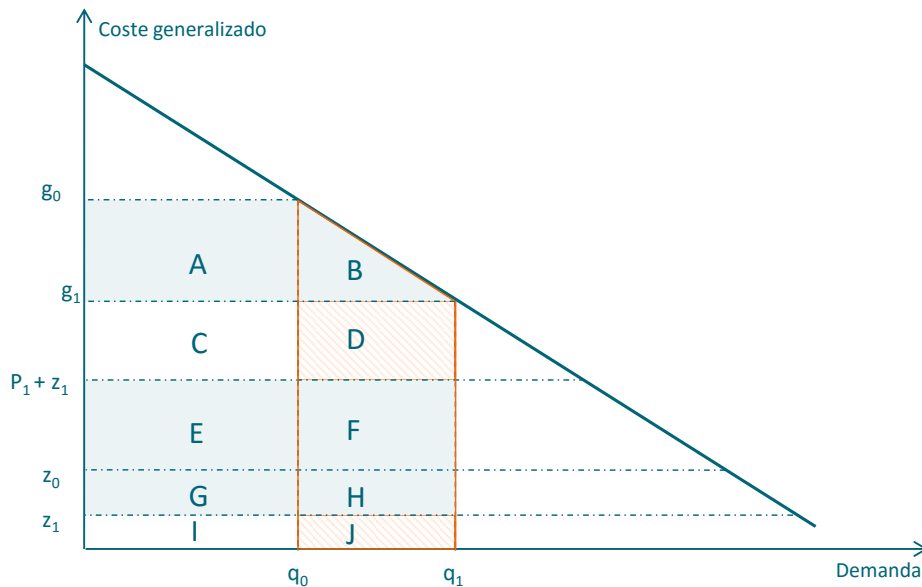
Figura 51. Representación gráfica de impactos en el ACB - Ahorros de costes de operación



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la **disposición a pagar de los nuevos viajeros**, se muestra en la siguiente figura como el aumento de la disposición a pagar de los usuarios por la mejora de las condiciones de la infraestructura (reducción del coste generalizado del viaje). Esto hace que se genere una nueva demanda q_1 , que se añade a la ya existente. El beneficio que genera esta nueva demanda queda representado por el área resaltada ($B+D+F+H+J$), sin embargo, los nuevos usuarios que entran a utilizar la infraestructura tendrán también unos costes que hay que considerar en el ACB, por lo que hay que restarle los costes de tiempo y operación que tendrá esta nueva demanda (áreas D y J, respectivamente).

Figura 52. Representación gráfica de impactos en el ACB - Cambio en Disposición a Pagar



Fuente: Elaboración propia

Finalmente están las externalidades, los beneficios y los costes que se producen fuera de este mercado (efectos externos) y que, por lo tanto, no se reflejan en los gráficos anteriores.

9.1.3 [Los excedentes de los productores](#)

El impacto en los operadores afectados por la nueva infraestructura se mide a través de su excedente (beneficio), deduciendo del mismo las simples transferencias desde el sector público (es decir, computando los ingresos y los gastos netos de impuestos y transferencias desde el sector público), y valorando los recursos empleados en la producción de los servicios de transporte según su coste social de oportunidad, para lo cual los precios de mercado deben ser corregidos para reflejar este coste (**“shadow pricing”, precios sombra**).

Más adelante se exponen las correcciones en los precios que se efectúan para convertir precios de mercado en precios sombra. En general, como en el resto de la metodología, se siguen las directrices de la Guía de la Comisión Europea.

Para la determinación de estos efectos debe disponerse de la demanda del corredor y de sus orígenes y de las correcciones o precios sombra a aplicar a las diferentes partidas que integran la cuenta de resultados de los operadores de transporte.

9.1.4 [Los efectos externos](#)

Cuando el proyecto induce otros efectos positivos o negativos (con o sin mercado) que recaen en partes ajenas a las transacciones en el mercado de estudio y se producen sin compensación monetaria, estamos en presencia de una externalidad que debe ser considerada en el cómputo de los beneficios y costes.

En el presente Documento se incorporan los siguientes efectos externos:

- Efectos por ruido e impactos urbanos.
- Emisiones contaminantes - polución atmosférica.
- Emisiones de CO₂ – cambio climático.
- Accidentalidad.

Para la valoración económica de los impactos medioambientales se utiliza el estudio “External Costs of Transport in Europe. Update Study for 2008” (año 2011).

9.2 Definición de escenarios

En el Análisis Coste Beneficio se analizan la comparativa entre dos escenarios.

9.2.1 [Caso Base: Construcción y explotación del AVE](#)

El escenario base o “sin proyecto” es, por definición, aquél sobre el que se toman las medidas oportunas para conseguir los objetivos (por ejemplo, la prestación de los servicios de transporte) en ausencia de iniciativas o inversiones de magnitud importante.

Sin embargo, en el presente análisis se decide contemplar como caso base la situación actual, que conlleva el desarrollo del AVE. Esto permite realizar el análisis económico-social en sintonía con el resto del Estudio, donde se realiza una comparación entre ambos medios de transporte.

Las características, así como las magnitudes económicas asociadas al caso base son las contempladas en los epígrafes anteriores relacionados.

9.2.2 [Escenario de proyecto: Construcción y explotación del Hyperloop](#)

Frente al caso base se contempla el escenario de desarrollo y explotación el Hyperloop. Las características y datos asociados a este escenario de desarrollado son las mismas que se han descrito en los epígrafes anteriores correspondientes.

9.3 Marco de análisis

A continuación se exponen los parámetros que se incluyen en el ACB y los supuestos de partida. Estos últimos se presentan como los elementos que condicionan los valores de los parámetros.

9.3.1 [Inflación](#)

Los flujos en el Análisis Coste Beneficio se toman en **términos reales** (precios constantes referenciados al año 2003), no afectando la inflación.

9.3.2 [PIB](#)

Se consideran como principales variables macroeconómicas el PIB, el PIB per cápita, ambos en términos reales y el IPC general.

9.3.3 [Tasa social de descuento](#)

De acuerdo con los manuales referidos para el ACB de proyectos de inversión, la tasa social de descuento recomendada para la evaluación de proyectos debe basarse en la tasa social de preferencia temporal que, a su vez, se construye a partir de la tasa prevista de crecimiento del PIB, la utilidad marginal de la renta y la tasa de preferencia temporal pura.

Los manuales proponen varios criterios para aproximarse a un valor de una tasa “razonable” de descuento. Aunque también exponen “las dificultades casi insalvables para determinar con exactitud su valor”, lo que conduce a que algunos países con características similares tengan diferentes tasas de descuento.

Con esta situación, el manual presenta varios candidatos para la tasa social de descuento:

- Tipo de interés de mercado.
- Tasa marginal de preferencia temporal.
- Tasa marginal de productividad del capital.

En el presente Análisis Coste Beneficio se considera una **tasa de descuento del 5%**, conforme a la recomendación de la Comisión Europea para los países considerados en los Fondos de Cohesión, donde se encontraba España hasta el año 2014, cuando pasó a ser contribuyente neto.

9.3.4 [Contorno de análisis](#)

En el presente Análisis Coste Beneficio se consideran un escenario “con proyecto”, el cual se compara con el caso base. El caso base supone construir la infraestructura actual (AVE entre Madrid y Barcelona) y su explotación, para lo que se deben desarrollar las actuaciones de mantenimiento y reinversión consideradas necesarias.

El perímetro de análisis del proyecto engloba: el corredor Madrid – Zaragoza - Barcelona para la vía ferroviaria e Hyperloop; los aeropuertos de las tres ciudades referidas y, por tanto, al operador AENA; la carretera de dicho corredor, con los medios de transporte que hacen uso de la misma, así como a las compañías de autobuses relacionadas.

9.3.5 Perímetro temporal

En el desarrollo del ACB se considera como año de valor actual el 2003, que coincide con el año de inicio de la fase de inversión intensiva tanto en el AVE como en el Hyperloop. Asimismo, para ambos medios de transporte, el año de inicio de la fase de explotación comercial es el 2008.

El ACB se realiza para un plazo de análisis de 30 años, por lo que se finaliza en el año 2032.

9.3.6 Hipótesis y asunciones

9.3.6.1 *Valores de los tiempos de desplazamiento*

El valor del tiempo de viaje (VOT) se entiende como la disposición del usuario a pagar por el ahorro del tiempo de viaje. Para su estimación más precisa sería necesario construir un modelo de elección discreta a partir de datos empíricos, obtenidos habitualmente de encuestas de preferencias declaradas (EPDs) diseñadas ad hoc sobre una muestra suficiente de usuarios potenciales de la nueva infraestructura.

Se consideran valores de tiempo de viaje diferentes en función del medio de transporte y de la caracterización del pasajero según el motivo de viaje (ocio o negocio). La siguiente tabla presenta los VOT para el año 2003, según los diferentes medios de transporte contemplados. Recoge igualmente la distribución porcentual del tipo de pasajero (negocio u ocio) para cada uno de dichos medios.

Tabla 49. Valor del Tiempo de Viaje según medio de transporte. 2003

Costes	unidades	AVE	Coche	Moto	Bus	Avión	Hyperloop
Valor tiempo viaje	EUR/Hr-Pax	8,35	5,88	4,78	2,39	25,23	7,80
Viaje negocio	EUR/Hr-Pax	10,00	10,00	10,00	5,00	10,00	10,00
% distribución		70%	25%	5%	5%	60%	60%
Viaje ocio	EUR/Hr-Pax	4,50	4,50	4,50	2,25	4,50	4,50
% distribución		30%	75%	95%	95%	40%	40%

Fuente: Elaboración propia

Los valores de los tiempos de viaje se han obtenido de la “Guía del análisis coste-beneficios de los proyectos de inversión. 2003”, manual elaborado para la Unidad responsable de la evaluación DG Política Regional Comisión Europea.

El valor del tiempo es actualizado mediante el PIB per cápita de España durante todo el periodo de análisis, a través de un índice de elasticidad de 1.

9.3.6.2 Ocupación de vehículos

Para contabilizar los costes de los tiempos de viaje y, por consiguiente, los beneficios derivados de los ahorros de tiempo por la construcción y explotación del Hyperloop, se hace necesario estimar las ocupaciones medias para cada uno de los vehículos de la carretera.

Tabla 50. Ocupación media según tipo de vehículo

Modo de transporte	Ocupación media
Motos	1,03 pax/veh
Coches	1,78 pax/veh
Autobuses	22,00 pax/veh

Fuente: Elaboración propia

Los valores reflejados en la tabla anterior se plantean a partir de la experiencia de los autores del presente Estudio en el desarrollo de este tipo de análisis.

9.3.6.3 Trayectos y velocidades medias estimadas

Se estiman unos trayectos medios para cada uno de los tramos considerados en el ACB. Las distancias se consideran de acuerdo con la información contenida en la Descripción del Corredor, en el cual se describen los trayectos tanto para el AVE como para el Hyperloop.

A partir de dicho análisis realizado se establecen los siguientes trayectos y velocidades promedio.

Tabla 51. Trayectos y velocidades medias estimados (Km)

Modos	Madrid – Barcelona		Madrid-Zaragoza		Zaragoza-Barcelona	
	Trayecto (Km)	Velocidad (Km/h)	Trayecto (Km)	Velocidad (Km/h)	Trayecto (Km)	Velocidad (Km/h)
AVE	621	248	307	231	314	221
Coche	625	110	314	110	312	110
Moto	625	110	314	110	312	110
Autobús	625	90	314	90	312	90
Avión	609	850	320	850	295	850
Hyperloop	550	948	272	824	278	842

Fuente: Elaboración propia

9.3.6.4 Costes monetarios para la operación de los vehículos

Entre los costes operativos para los usuarios de la infraestructura de la carretera se encuentran:

- Depreciación del vehículo.
- Mantenimiento del vehículo.
- Consumo de combustible.

- Consumo de lubricantes.
- Consumo de neumáticos.

La variación en el coste de operación para los usuarios de la carretera que pasan al uso del Hyperloop proviene del ahorro de consumo, tanto de combustible como de lubricantes y neumáticos, así como del menor uso de los vehículos, lo que genera ahorro de amortización y mantenimiento.

La siguiente tabla refleja los valores empleados en el cálculo del coste de operación.

Tabla 52. Parámetros costes operativos

Costes	unidades	Coche	Moto	Bus
Depreciación vehículo	EUR/Km	0,040	0,040	0,070
Coste Mantenimiento	EUR/Km	€/Km=0,26*v ^{-0,44}		0,09
Precio Combustible	EUR/l	0,900	0,900	0,850
Precio Lubricantes	EUR/ l	4,830	4,830	5,380
Consumo lubricante/ consumo combustible	-	0,012	0,012	0,008
Número ruedas	-	4	2	8
Precio rueda	EUR/rueda	85	85	210
Cambio rueda	Km	50.000	50.000	150.000

Fuente: Elaboración propia

Los valores para la amortización de los vehículos se obtienen de las “Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio, de estudios y proyectos de carreteras” del Ministerio de Fomento de España en su actualización de 2001.

El coste asociado al mantenimiento de los vehículos ligeros se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Mantenimiento (€/Km)} = K * v^{-0,44}$$

El coeficiente de ajuste empleado es de $-0,44$, mientras que el coeficiente K adquiere un valor de $0,26$. Ambos parámetros se obtienen de la actualización del valor publicado en las “Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio, de estudios y proyectos de carreteras”, en su actualización de 2001.

El consumo de combustible por kilómetro se obtiene a partir de una fórmula que emplea como variables la pendiente de la vía y la velocidad media del vehículo, desarrollada en las “Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio, de estudios y proyectos de carreteras” y en el manual de “Evaluación económica de proyectos de transporte” del Ministerio de Fomento, en su versión de agosto de 2010.

El ratio de consumo de lubricante en función del consumo de combustible, se obtiene de las “Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio, de estudios y proyectos de carreteras”.

El precio del combustible, lubricante y de los neumáticos se obtienen en base a un estudio de mercado realizado para tal objeto.

9.3.7 Precios sombra

Para alcanzar los objetivos del ACB se tienen que valorar los recursos por su coste social de oportunidad. Los precios de mercado son, en general, una referencia válida, aunque no siempre pueden ser tomados directamente debido a la existencia de distorsiones en el mercado. En otras ocasiones no existen mercados de los que extraer los precios.

En el primero de estos casos es necesario utilizar precios sombra que reflejen mejor el coste social marginal de oportunidad que normalmente se expresan como una variación porcentual de los precios de mercado.

La determinación de los precios sombra es una cuestión muy delicada, ya que afecta de forma muy relevante a los resultados finales de evaluación del proyecto. Por ello, es muy importante acudir a referencias estandarizadas que no distorsionen la posible comparación internacional de los proyectos.

Las principales distorsiones derivan del ejercicio de poder de mercado en el intercambio de determinados bienes y servicios, las rigideces en los ajustes de precios y cantidades, de forma señalada en el mercado de trabajo, y de la fiscalidad.

Los costes de construcción estimados llevan asociados los siguientes factores de conversión a precios sombra, obtenidos a partir de manuales del Ministerio de Fomento:

Tabla 53. Precios sombra a aplicar a las variables

Concepto Coste	Precio sombra. Ratio sobre precio de mercado
Inversión en infraestructura	0,70
Costes de Mantenimiento de la Infraestructura	0,70
Costes Generales y de Estructura	0,88
Inversión en material móvil	0,70
Ligados a ventas	0,70
Personal	0,70
Energía (ligados a la circulación)	0,82
Mantenimiento y limpieza	0,88
Seguros	0,88

Concepto Coste	Precio sombra. Ratio sobre precio de mercado
Generales y de estructura	0,88

Fuente: ADIF (Manual para la evaluación de inversiones ADIF 2013), BID y elaboración propia

Estos precios sombra se aplican sobre los precios netos de impuestos, subvenciones u otras transferencias hacia o desde el sector público.

9.3.8 Valoración de efectos sin mercado de referencia

La aplicación de los precios sombra permite, en general, capturar una gran parte de los efectos indirectos y externos que se vinculan con la transacción entre el operador del sistema y los usuarios.

Sin embargo, el transporte induce costes (y beneficios) que no repercuten directamente en los agentes que interfieren en él, sino que afectan a agentes externos, y por los que no son compensados de manera directa, por lo que deben ser considerados de forma separada en el análisis.

Para la obtención de los valores se recurre al documento “External Costs of Transport in Europe. Update Study for 2008” (año 2011). Los valores reales son actualizados anualmente a través del PIB per cápita de España. De acuerdo con el documento, se consideran para este estudio los siguientes costes externos:

- Ruido.
- Polución atmosférica.
- Cambio climático (emisión de CO₂).
- Impacto visual.
- Accidentalidad.

Los efectos externos ligados a la puesta en servicio de una infraestructura deben ser tenidos en cuenta en el análisis coste beneficio para la toma de decisiones de inversión.

En el caso de las nuevas infraestructuras analizadas en el presente Estudio, la puesta en funcionamiento de las mismas implicará una reordenación y reajuste de la demanda de transporte. Dicho ajuste se traducirá, en líneas generales, en una transferencia de usuarios de otros modos a la nueva infraestructura, además de una importante inducción de nueva demanda.

Modos de transporte particularmente importantes como son los turismos, autobuses, aviones verán descender el número de usuarios en favor del Hyperloop. Esto traerá como consecuencia una variación en los valores de accidentalidad, emisiones de ruido y polución a la atmósfera y en los efectos sobre el cambio climático.

En las sociedades desarrolladas, el transporte es la actividad que genera directa o indirectamente los mayores y más variados problemas ambientales, por lo que es voluntad de todas las administraciones públicas que se produzcan transferencias de tráfico hacia los modos de transporte más favorables para el medio ambiente.

En este sentido, conviene tener en cuenta que, dependiendo del modo de transporte considerado, los diferentes efectos tienen importancia distinta. Así, para el automóvil el factor de mayor coste es, con diferencia, la accidentalidad, mientras que la polución y el efecto sobre el cambio climático son del

mismo orden de magnitud y tienen mayor importancia que el ruido. Los costes externos del ruido emitido por los autocares son más importantes que los costes imputables a la contaminación atmosférica y a los cambios climáticos.

Se desagregan las externalidades en dos subgrupos: los costes relacionados con el medioambiente y los costes relacionados con la accidentalidad.

9.3.8.1 Costes medioambientales

Ruido

En sentido amplio puede establecerse como ruido cualquier sonido que interfiere en alguna actividad humana, afectando negativamente a la calidad de vida de las personas. Los ruidos de alta intensidad pueden llegar a provocar estado de agotamiento, fatiga nerviosa, efectos sobre el rendimiento en el trabajo, alteración del sueño y descanso, pérdida de audición, etc.

Los sistemas de transporte terrestre están considerados como una de las principales fuentes de emisión sonora causantes del ruido ambiental soportado. De esta forma, la construcción de una nueva infraestructura como el AVE y el Hyperloop genera una elevación de los niveles sonoros en los espacios que atraviesa, de diversa tipología y significación.

Sin olvidar el incremento temporal del nivel sonoro asociado a algunas operaciones propias de la fase de construcción, cuyos efectos pueden atenuarse en parte mediante la adopción de medidas de carácter preventivo, el ruido de mayor significación producido por estos tipos de infraestructura es el originado por la circulación de los trenes y vainas en fase de explotación.

Los parámetros que condicionan el nivel de ruido percibido y el grado de molestia ocasionado derivan fundamentalmente de las características del medio atravesado y de las de la infraestructura y el tipo de explotación, destacando los siguientes:

- Trazado. Proximidad de la población receptora a la fuente de emisión.
- Usos y actividades predominantes en las áreas afectadas. Pueden darse elementos especialmente sensibles al ruido (hospitales, colegios, etc.) o, por el contrario, actividades generadoras de ruido (industrias...).
- Topografía local y existencia de obstáculos físicos que reflejen o refracten el ruido.
- Características del trazado y el tráfico.
- Niveles de ruido originados por otros medios de transporte u otras fuentes de emisión.

Contaminación atmosférica y cambio climático

El sector del transporte es el primer emisor de gases de efecto invernadero en España, incluso si se consideran solamente las emisiones generadas en la tracción de los vehículos. Si se imputan también las emisiones generadas en la construcción y mantenimiento de los vehículos y las infraestructuras, las emisiones del sector se acrecientan sustancialmente.

El dióxido de carbono es responsable de alrededor del 50% del efecto invernadero.

Las emisiones de CO₂ provenientes del transporte terrestre de pasajeros a nivel mundial se incrementarán hacia 2050 entre un 30 y un 110%, según el informe Perspectivas del Transporte 2015, publicado por ITF (Forum Internacional del Transporte) y OCDE. Este crecimiento de las emisiones contaminantes a nivel mundial es consecuencia del previsto incremento del 120-230% del transporte

de pasajeros por carretera y ferrocarril, que el caso de los países no-miembros de la OCDE crecerá hasta un 240-250%, aunque estas cifras dependerán de la futura evolución de los precios del combustible y de cambios en las políticas de transporte.

Según el citado informe, las políticas urbanas orientadas al transporte público podrían disminuir el crecimiento de las emisiones de CO₂ alrededor de un 30% con respecto a las ciudades de Latinoamérica y China y hasta de un 40% respecto a las de India.

Mientras tanto, el crecimiento transporte de mercancías por carretera y ferrocarril a nivel mundial oscilará entre el 230 y 420%, aunque las emisiones de CO₂ asociadas a éste solo aumentarán un 140-150%, debido a la creciente participación del sector servicios en las economías avanzadas. Y de forma similar al transporte de pasajeros, el aumento del de mercancías será liderado por países no-miembros de la OCDE, como China e India.

Hay que recordar que el transporte por carretera contribuye con cerca del 50% de las emisiones de CO₂ y se prevé que su importancia en 2050 alcance el 56%.

Impacto visual

El impacto visual que generan las infraestructuras es también considerado un coste externo que debe, en la medida de lo posible, considerarse para la evaluación de los proyectos. Lo cierto es que la gran mayoría de manuales de Análisis Coste Beneficio, tanto a nivel español, como europeo y mundial, tan solo evalúan este aspecto de maneja cualitativa, sin llegar a profundizar en la monetización de su impacto, debido, básicamente, a la dificultad que ello conlleva.

En relación a este efecto externo, debe considerarse que las infraestructuras continuas, como son la carretera, el ferrocarril y el Hyperloop suponen un mayor impacto paisajístico que la de infraestructuras discontinuas como son los aeropuertos. Además, estos se encuentran, generalmente, alejados de los núcleos urbanos, por lo que su apreciación de impacto negativo es aún más reducida. Por el contrario, tanto las carreteras como el AVE y el Hyperloop se adentran en las poblaciones a las que asisten, causando, de esta forma, un mayor coste social.

Los valores comparados de los costes externos medioambientales, expresados en €/veh-km, se reproducen en la siguiente tabla:

Tabla 54. Costes medioambientales

Modo transporte	Contaminación atmosférica (EUR/Pax-Km)	Cambio climático (EUR/Pax-Km)	Ruido (EUR/Pax-Km)
AVE	0,0029	0,0049	0,0039
Coche	0,0173	0,0159	0,0057
Moto	0,0079	0,0138	0,0170
Autobús	0,0196	0,0089	0,0013

Modo transporte	Contaminación atmosférica (EUR/Pax-Km)	Cambio climático (EUR/Pax-Km)	Ruido (EUR/Pax-Km)
Avión	0,0016	0,0352	0,0036
Hyperloop	0,0015	0,0025	0,0039

Fuente: Guía del análisis coste beneficio de los proyectos de inversión. 2003. UE y elaboración propia

Los valores para monetizar los costes medioambientales se obtienen de la “Guía del análisis coste-beneficios de los proyectos de inversión. 2003” de la Unión Europea. En el caso del Hyperloop, los valores son hipótesis, ya que no existen datos relacionados.

De la anterior tabla puede fácilmente observarse como el autobús y el coche son los medios de transporte que más contribuyen a la contaminación atmosférica por emisión de gases. En relación al cambio climático, es el avión quien destaca negativamente como principal emisor de gases CO₂. Tanto para la contaminación atmosférica como para el cambio climático, el Hyperloop es considerado el medio de transporte menos contaminante.

En relación al efecto del ruido, la moto es quien genera mayores costes por pasajero-Km, seguido del coche.

9.3.8.2 Costes de accidentalidad

En cuanto a los costes derivados de los accidentes, se parte de datos proporcionados por la “Guía del análisis coste-beneficios de los proyectos de inversión. 2003” de la Unión Europea

Para monetizar los daños humanos derivados de los accidentes, se considera un Valor Estadístico de Vida (VOSL- Value of a Statistical Life) de 515.000 €/ víctima. Dicho valor es estimado a partir de la información proporcionada en el estudio “Análisis coste-beneficio de la conexión Galicia Madrid con un servicio ferroviario de alta velocidad”, elaborado por la Universidad de Vigo y Caixagalicia.

Lo cierto es que del análisis de diferentes manuales a nivel europeo y mundial se aprecian grandes diferencias entre los valores asociados al VOSL, si bien, la experiencia de los autores del presente Estudio hace optar por el valor seleccionado.

Tabla 55. Índices de accidentalidad

Modo transporte	Accidentalidad (EUR/Pax-Km)	Valor de vida (EUR/Víctima)
AVE	0,0009	515.000
Coche	0,0360	515.000
Moto	0,2500	515.000
Autobús	0,0031	515.000
Avión	0,0006	515.000

Modo transporte	Accidentalidad (EUR/Pax-Km)	Valor de vida (EUR/Víctima)
Hyperloop	0,0009	515.000

Fuente: Guía ACB de los proyectos de inversión. UE y elaboración propia

El valor del índice de accidentalidad para el caso del Hyperloop es estimado y considerado igual al del AVE.

9.4 Excedente del productor

En base a la metodología referida anteriormente, tanto las inversiones como los costes de mantenimiento y explotación son corregidos con los precios sombra, obteniéndose, de esta forma, los valores sociales de los diferentes conceptos.

A estos valores sociales se deben restar los gastos en que se hubiese incurrido si el proyecto no se fuese a realizar (también en valor social de oportunidad). Es decir, se restan los costes de mantenimiento y reposición en el caso de no ejecutar el proyecto, a lo largo de los próximos 30 años.

9.4.1 Costes de inversión inicial

Los costes de inversión, tanto para el caso del AVE como del Hyperloop, son desarrollados y analizados en detalle en su epígrafe correspondiente. En el caso del ACB, estos costes deben corregirse mediante los factores sombra ya indicados.

Tabla 56. Inversión en fase de construcción (EUR)

Medio transporte	2003	2004	2005	2006	2007
AVE	1.246.589.005	1.246.589.005	1.246.589.005	1.246.589.005	1.282.728.745
Hyperloop	860.451.509	860.451.509	860.451.509	860.451.509	859.163.509

Fuente: Elaboración propia

9.4.2 Costes de inversión en fase de explotación

Además de la inversión inicial, existen otros tipos de inversiones, algunas de carácter periódico, que se corresponden con la reposición de los elementos que agoten su vida útil durante el periodo de análisis, y otras que se hacen necesarias por el incremento de tráfico.

La siguiente tabla recoge la vida útil de los diferentes activos contemplados.

Tabla 57. Vida útil de los activos

Concepto	Vida útil (años)	
	AVE	Hyperloop
Infraestructura	75	75
Estaciones	75	75

Concepto	Vida útil (años)	
	AVE	Hyperloop
Material rodante/ vainas	40	25
Material auxiliar	40	25
Talleres y bases de mantenimiento	75	75

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan las inversiones en fase de explotación para ciertos años puntuales del periodo de análisis, tanto para el AVE como para el Hyperloop.

Tabla 58. Inversión en fase de explotación (EUR)

Medio transporte	2008	2010	2015	2020	2025	2030	2031	2032
AVE	6.520.981	0	0	0	0	2.173.660	2.173.660	0
Hyperloop	0	0	3.379.500	2.253.000	3.379.500	39.030.496	37.903.996	38.868.996

Fuente: Elaboración propia

Se presenta a continuación el valor residual, tanto para el AVE como para el Hyperloop, en el momento de cierre del análisis correspondiente al año 2032.

Tabla 59. Valor residual (EUR)

Medio transporte	2032
AVE	4.040.250.813
Hyperloop	2.947.542.630

Fuente: Elaboración propia

9.4.3 Costes de explotación de la infraestructura

En el epígrafe correspondiente se analizan en detalle los costes de explotación de ambos medios de transporte.

Dentro de dichos costes de explotación se encuentran los siguientes:

- Gastos asociados al mantenimiento y conservación, tanto de la infraestructura como del material móvil.
- Gastos de suministros, principalmente consumo eléctrico.
- Gastos de personal, tanto de las estructuras de las sociedades como del personal operativo de las estaciones, de mantenimiento, de seguridad, etc. Se incluyen también los trabajadores/ operarios que realizan sus funciones dentro de los trenes.
- Gastos de seguros.
- Gastos de servicios exteriores.

Una vez la infraestructura se empiece a construir, será necesario que se lleven a cabo unas eficaces labores de conservación y mantenimiento, para que los objetivos con los que fue diseñada se alcancen y permanezcan durante la duración del contrato.

De acuerdo a lo indicado anteriormente, se estiman los costes de conservación de la infraestructura sobre la base del periodo de explotación previsto.

Dicho presupuesto de conservación se divide en dos partes. Por un lado se contabiliza la conservación ordinaria, que se realiza de manera continua, a lo largo de todos los años que dure la explotación, y, por otro lado, la conservación extraordinaria y reinversiones (inversión en fase de explotación) que son actuaciones puntuales que están programadas cada cierto periodo de tiempo o según resultados de estudios posteriores que deberá realizar la sociedad responsable.

El objetivo principal del mantenimiento es conservar las infraestructuras en un óptimo estado durante su vida útil.

Se recogen en la siguiente tabla el resultado resumen de los costes aplicados en el Análisis Coste Beneficio.

Tabla 60. Costes de explotación (EUR)

Medio transporte	2008	2010	2015	2020	2025	2030	2031	2032
Hyperloop	83.013.787	82.725.426	85.700.941	88.995.953	92.913.689	97.334.877	98.277.231	99.263.601

Fuente: Elaboración propia

9.4.4 Ahorros/ Costes de otros medios de transporte

En el escenario con proyecto Hyperloop, éste medio de transporte capta una demanda considerable del AVE, del avión y de los autobuses, a parte del coche y de la moto.

Tanto el AVE, como el avión y el autobús son operados por empresas gestoras que verán reducidos sus ingresos por el menor tráfico. Al mismo tiempo, se registrará una reducción de los costes operativos en dichos medios.

En el caso del avión, se recurre al ratio OPEX/Pax e Ingreso total/Pax de los aeropuertos de AENA. Al considerar el ingreso total se está incluyendo tanto los ingresos aeronáuticos como los comerciales generados en los propios aeropuertos. Los valores de dichos ratios se obtienen del análisis del tráfico y de las cuentas públicas del operador aeroportuario, y adquieren el valor medio de 8,04 EUR/Pax y 10,4 EUR/Pax, respectivamente.

En el caso del autobús, los ahorros de coste por pasajero se obtienen a partir de los datos presentados en la Tabla 52. Parámetros costes operativos, donde se expresan los datos relacionados con la depreciación y mantenimiento del vehículo, así como los gastos asociados a los consumos de combustible, lubricantes y neumáticos. Asimismo, se estiman los ingresos dejados de percibir como consecuencia de la reducción de la demanda en base a un precio medio según el trayecto realizado.

La siguiente tabla, recogida del modelo desarrollado para el Análisis Coste Beneficio, presenta datos de los costes de explotación e inversiones.

Tabla 61. Datos Modelo ACB. Costes explotación e inversiones

ID.	CONCEPTO	VAN	FASE INVERSIÓN INTENSIVA					FASE DE EXPLOTACIÓN COMERCIAL							
			2003	2004	2005	2006	2007	2008	2010	2015	2020	2025	2030	2031	2032
2	COSTES EXPLOTACIÓN	-1.822.103.009	0	0	0	0	0	-107.486.607	-121.935.300	-168.968.288	-183.703.246	-198.251.522	-213.962.767	-217.260.980	-220.684.677
2.1	COSTES OPERACIÓN HYPERLOOP		0	0	0	0	0	-83.013.787	-82.725.426	-85.700.941	-88.995.953	-92.913.689	-97.334.877	-98.277.231	-99.263.601
2.2	INGRESOS HYPERLOOP		0	0	0	0	0	115.688.988	113.453.912	123.015.711	134.968.579	147.073.392	160.263.839	163.040.624	165.865.521
2.3	AHORRO COSTES OPERACIÓN AVE		0	0	0	0	0	95.452.056	100.814.054	115.843.985	123.750.766	132.712.889	142.772.686	144.911.289	147.046.296
2.4	PÉRDIDA INGRESOS AVE		0	0	0	0	0	-218.897.513	-238.970.919	-310.735.415	-340.928.137	-371.504.672	-404.823.498	-411.837.606	-418.973.242
2.5	PÉRDIDA INGRESOS AENA		0	0	0	0	0	-22.740.830	-19.269.949	-14.192.912	-15.571.971	-16.968.561	-18.490.406	-18.810.777	-19.136.699
2.6	AHORRO COSTES AENA		0	0	0	0	0	8.806.085	7.462.082	5.496.017	6.030.039	6.570.850	7.160.165	7.284.224	7.410.433
2.7	PÉRDIDA INGRESOS BUS		0	0	0	0	0	-7.330.135	-6.951.620	-7.052.310	-7.737.551	-8.431.502	-9.187.691	-9.346.880	-9.508.827
2.8	AHORRO COSTES BUS		0	0	0	0	0	4.548.529	4.252.616	4.357.577	4.780.982	5.209.770	5.677.015	5.775.377	5.875.443
3	INVERSIONES	1.399.364.478	386.137.496	386.137.496	386.137.496	386.137.496	423.565.236	6.520.981	0	-3.379.500	-2.253.000	-3.379.500	-36.856.836	-35.730.336	#####
3.1	INVERSIONES COINSTRUCCIÓN. HYPERLOOP		860.451.509	860.451.509	860.451.509	860.451.509	859.163.509	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2	INVERSIONES EXPLOTACIÓN. HYPERLOOP		0	0	0	0	0	0	0	3.379.500	2.253.000	3.379.500	39.030.496	37.903.996	38.868.996
3.3	VALOR RESIDUAL. HYPERLOOP		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.947.542.630
3.4	INVERSIONES CONSTRUCCIÓN. AVE		1.246.589.005	1.246.589.005	1.246.589.005	1.246.589.005	1.282.728.745	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	INVERSIONES EXPLOTACIÓN. AVE		0	0	0	0	0	6.520.981	0	0	0	0	2.173.660	2.173.660	0
3.6	VALOR RESIDUAL. AVE		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.040.250.813

Fuente: Elaboración propia

9.5 Excedente de los usuarios

El impacto en los usuarios se determina a partir de los ahorros de tiempo y de los ahorros generados por cambio de medio de transporte.

Los ahorros de tiempo se calculan, para los viajeros que usan el Hyperloop, como diferencia entre el tiempo en situación caso base para un desplazamiento en el modo utilizado en dicho escenario, y el tiempo en Hyperloop utilizado en el escenario con proyecto.

Para los usuarios que en caso base utilizaban un vehículo propio (coche o moto) y que en el escenario con proyecto pasan a utilizar el Hyperloop, se genera un ahorro de costes asociados a la reducción de los gastos de depreciación y mantenimiento de los vehículos y al menor consumo de combustibles, lubricantes y neumáticos.

Para los nuevos viajeros (demanda inducida) que utilizarán la infraestructura Hyperloop, su excedente será la nueva disposición a pagar, a la que habrá que restar los costes del tiempo de viaje, ya que estos suponen una nueva fuente de consumo de recursos.

Según lo establecido en el marco de partida, se considera que la infraestructura comienza a ser operativa en el año 2008, por lo que en los años previos no habrá ningún beneficio/ coste por ahorros de tiempo, operación, etc.

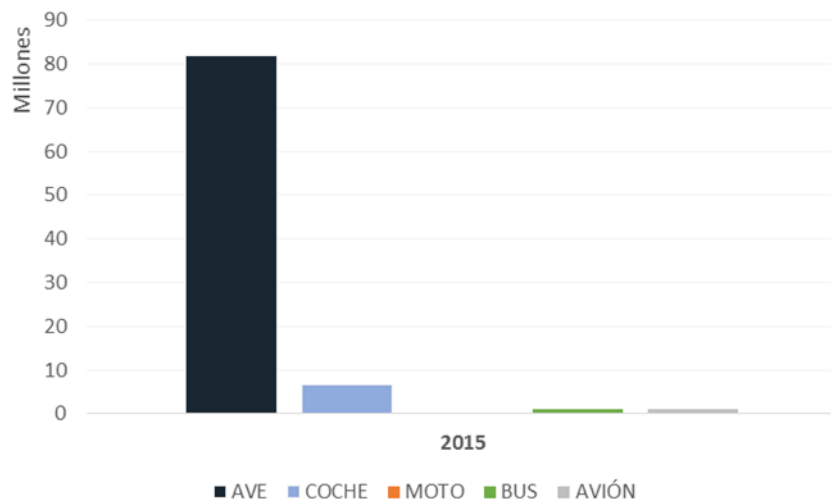
Tabla 62. Datos Modelo ACB. Beneficios asociados a los ahorros de tiempo

ID.	CONCEPTO	VAN	FASE DE EXPLOTACIÓN COMERCIAL							
			2008	2010	2015	2020	2025	2030	2031	2032
1	BENEFICIOS/COSTES ASOCIADOS A USUARIOS	7.465.948.399	600.962.085	577.211.934	622.403.269	703.900.502	791.989.745	892.887.817	914.784.497	937.295.583
1.1	AHORROS DE TIEMPO	1.072.693.981	68.112.945	69.863.663	87.110.706	104.742.613	125.348.772	150.006.792	155.492.369	161.178.545
1.11	AHORROS DE TIEMPO PASAJEROS PROCEDENTE AVE		58.257.817	60.202.820	78.188.759	94.510.727	113.105.465	135.358.669	140.309.337	145.441.073
1.12	AHORROS DE TIEMPO PASAJEROS PROCEDENTE COCHE		7.297.943	6.564.604	6.689.338	8.085.737	9.676.570	11.580.391	12.003.934	12.442.967
1.13	AHORROS DE TIEMPO PASAJEROS PROCEDENTE BUS		1.205.280	1.075.566	1.104.083	1.333.109	1.592.077	1.901.313	1.970.019	2.041.207
1.14	AHORROS DE TIEMPO PASAJEROS PROCEDENTE MOTO		19.604	17.707	18.002	21.759	26.036	31.155	32.294	33.474
1.15	AHORROS DE TIEMPO PASAJEROS PROCEDENTE AVIÓN		1.332.302	2.002.966	1.110.524	791.282	948.623	1.135.262	1.176.784	1.219.824

Fuente: Elaboración propia

La siguiente ilustración presenta los ahorros de costes generados en el año 2015 como consecuencia de los menores tiempos de desplazamiento, según cada uno de los medios de transporte.

Figura 53. Ahorros de costes por tiempo. Año 2015



Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse en los datos anteriores, la demanda del AVE, que es captada en su totalidad por el Hyperloop, permite obtener un ahorro monetario muy considerable, superando los 58 millones de EUR en 2008 y aproximadamente 80 millones en el año 2015.

La siguiente tabla presenta los ahorros generados para los usuarios por el menor empleo de sus vehículos propios, en el caso del coche y moto, y por la reducción de las tarifas del Hyperloop frente al AVE, avión y autobús.

Para el cálculo de los ahorros de costes, por parte de los usuarios, asociados a la diferencia de precios de los billetes, se selecciona como precio medio del billete del Hyperloop para el tramo Madrid-Barcelona la cantidad de 15 EUR₂₀₀₃. Para los tramos intermedios, es decir, Madrid-Zaragoza y Zaragoza-Barcelona, los precios de los billetes son de 7,5 EUR₂₀₀₃.

En el caso del autobús, el precio de los billetes en el trayecto Madrid-Barcelona es de 25 EUR₂₀₀₃. Para los trayectos intermedios, los precios se sitúan en el valor de 10 EUR₂₀₀₃.

Para el caso del avión, el precio del billete para el trayecto Madrid-Barcelona se estima en un valor inicial de 50 EUR₂₀₀₃.

Tabla 63. Datos Modelo ACB. Beneficios/ Costes operativos asociados a usuarios

ID.	CONCEPTO	VAN	FASE DE EXPLOTACIÓN COMERCIAL							
			2008	2010	2015	2020	2025	2030	2031	2032
1	BENEFICIOS/COSTES ASOCIADOS A USUARIOS	7.465.948.399	600.962.085	577.211.934	622.403.269	703.900.502	791.989.745	892.887.817	914.784.497	937.295.583
1.2	AHORROS COSTES OPERATIVOS PARA USUARIOS	4.980.441.290	404.931.609	395.156.190	429.065.232	470.755.515	512.975.768	558.982.594	568.667.713	578.520.640
1.21	AHORROS COSTES OPERATIVOS COCHE		127.604.360	119.061.913	122.032.216	133.889.521	145.897.558	158.982.550	161.737.134	164.539.446
1.211	AHORROS COSTES AMORTIZACIÓN COCHE		45.648.403	42.688.414	43.690.942	47.936.188	52.235.401	56.920.193	57.906.411	58.909.717
1.212	AHORROS COSTES MANTENIMIENTO COCHE		37.508.195	35.076.043	35.899.796	39.388.013	42.920.572	46.769.954	47.580.305	48.404.698
1.213	AHORROS COSTES COMBUSTIBLE COCHE		55.154.682	51.578.276	52.789.580	57.918.899	63.113.423	68.773.823	69.965.421	71.177.666
1.214	AHORROS COSTES LUBRICANTES COCHE		3.551.962	3.321.641	3.399.649	3.729.977	4.064.504	4.429.034	4.505.773	4.583.842
1.215	AHORROS COSTES NEUMÁTICOS COCHE		7.760.228	7.257.030	7.427.460	8.149.152	8.880.018	9.676.433	9.844.090	10.014.652
1.216	VARIACIÓN COSTE TRANSPORTE		-22.019.110	-20.859.492	-21.175.211	-23.232.708	-25.316.360	-27.586.887	-28.064.867	-28.551.128
1.22	AHORROS COSTES OPERATIVOS MOTO		1.739.186	1.625.456	1.664.241	1.825.948	1.989.710	2.168.159	2.205.726	2.243.943
1.23	AHORROS COSTES OPERATIVOS AUTOBÚS		3.432.364	3.134.021	3.183.034	3.492.314	3.805.526	4.146.829	4.218.679	4.291.773
1.24	AHORROS COSTES OPERATIVOS AVIÓN		109.488.830	92.777.800	68.333.710	74.973.380	81.697.455	89.024.586	90.567.055	92.136.251
1.25	AHORROS COSTES OPERATIVOS AVE		170.235.308	185.979.219	241.899.788	265.404.071	289.207.142	315.145.020	320.605.328	326.160.243
1.26	AHORROS COSTES OPERATIVOS - INDUCIDO		-7.568.438	-7.422.219	-8.047.757	-8.829.720	-9.621.624	-10.484.550	-10.666.209	-10.851.015

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se observa como el mayor ahorro de costes está asociado a la diferencia de precio de los billetes entre el AVE y el Hyperloop, debido también a que la demanda del AVE es la mayoritaria en el caso del Hyperloop. En segundo lugar, se encuentran los ahorros generados por el menor uso de los coches particulares. Esto conlleva un ahorro de 127 millones de euros en el primer año de explotación.

Posteriormente se destaca el ahorro generado para los usuarios que anteriormente utilizaban el avión y se pasan al Hyperloop, como motivo de la diferencia de precio de los billetes.

9.6 Efectos externos

Como se detalla en el epígrafe correspondiente, los efectos externos considerados de forma cuantitativa son los siguientes:

- Accidentes.
- Ruido.
- Polución atmosférica.
- Cambio climático.

La siguiente tabla presenta los ahorros de las externalidades asociadas a los costes medioambientales, de manera agregada, a lo largo de ciertos años de vida del proyecto.

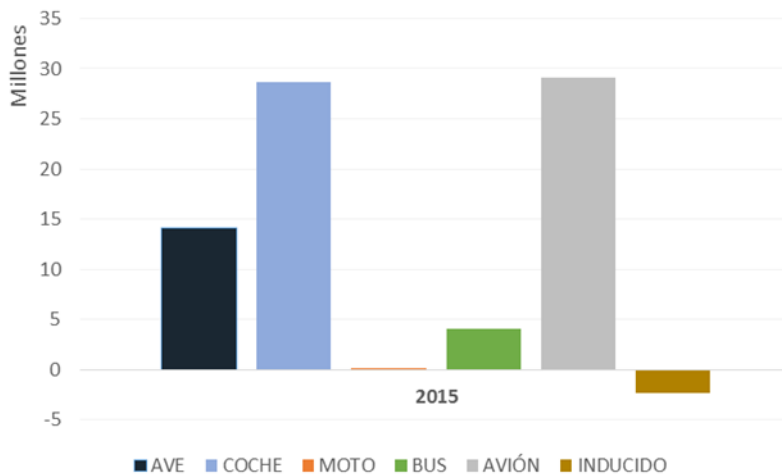
Tabla 64. Datos Modelo ACB. Externalidades

ID.	CONCEPTO	VAN	FASE DE EXPLOTACIÓN COMERCIAL							
			2008	2010	2015	2020	2025	2030	2031	2032
1	BENEFICIOS/COSTES ASOCIADOS A USUARIOS	7.465.948.399	600.962.085	577.211.934	622.403.269	703.900.502	791.989.745	892.887.817	914.784.497	937.295.583
1.4	EXTERNALIDADES - AHORRO DE COSTES AMBIENTALES	988.704.251	92.624.535	80.282.659	73.649.464	89.023.851	106.539.060	127.500.341	132.163.596	136.997.405
1.41	AHORRO DE COSTES AMBIENTALES - AVE		10.414.322	10.813.808	14.080.663	17.020.013	20.368.657	24.376.136	25.267.680	26.191.831
1.42	AHORRO DE COSTES AMBIENTALES - COCHE		31.233.337	28.192.755	28.678.903	34.665.648	41.486.024	49.648.290	51.464.149	53.346.421
1.43	AHORRO DE COSTES AMBIENTALES - BUS		4.466.327	4.014.977	4.094.372	4.949.075	5.922.793	7.088.087	7.347.330	7.616.054
1.44	AHORRO DE COSTES AMBIENTALES - MOTO		84.991	77.009	78.157	94.473	113.060	135.304	140.253	145.383
1.45	AHORRO DE COSTES AMBIENTALES - AVIÓN		48.756.450	39.362.219	29.084.041	35.155.359	42.072.084	50.349.656	52.191.167	54.100.030
1.46	NUEVOS COSTES AMBIENTALES - INDUCIDO		-2.330.893	-2.178.109	-2.366.673	-2.860.718	-3.423.557	-4.097.133	-4.246.983	-4.402.314

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse, el tráfico inducido genera un coste medioambiental, ya que anteriormente, dichos usuarios no se desplazaban pero, a raíz del proyecto, comienzan a utilizar el Hyperloop, generando ello un mayor coste ambiental.

Figura 54. Ahorro costes medioambientales. Año 2015



Fuente: Elaboración propia

Los mayores ahorros en costes medioambientales son los correspondientes al tráfico captado por el Hyperloop procedente del avión, y es que dicho medio de transporte es el más perjudicial en relación al cambio climático, por la alta emisión de CO₂.

En relación a los ahorros asociados a la accidentalidad, la siguiente tabla recoge los valores monetarios asociados para ciertos años de la vida del proyecto.

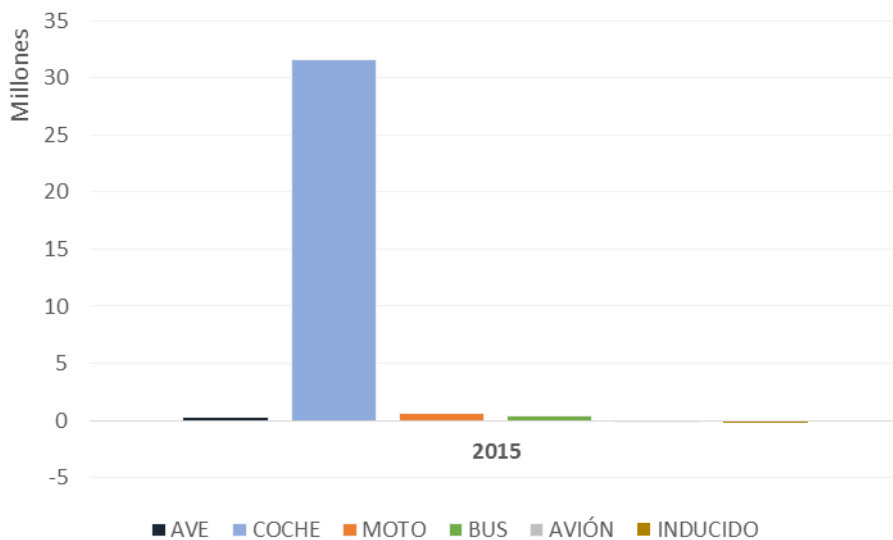
Tabla 65. Datos Modelo ACB. Ahorro por accidentalidad

ID.	CONCEPTO	VAN	FASE DE EXPLOTACIÓN COMERCIAL							
			2008	2010	2015	2020	2025	2030	2031	2032
1	BENEFICIOS/COSTES ASOCIADOS A USUARIOS	7.465.948.399	600.962.085	577.211.934	622.403.269	703.900.502	791.989.745	892.887.817	914.784.497	937.295.583
1.3	EXTERNALIDADES - AHORRO DE ACCIDENTES	424.108.876	35.292.997	31.909.421	32.577.867	39.378.524	47.126.145	56.398.091	58.460.820	60.598.992
1.31	AHORROS ACCIDENTES PASAJEROS PROCEDENTE AVE		221.368	230.003	299.552	362.084	433.323	518.578	537.545	557.205
1.32	AHORROS ACCIDENTES PASAJEROS PROCEDENTE COCHE		34.402.464	31.053.116	31.588.540	38.182.674	45.695.015	54.685.390	56.685.478	58.758.718
1.33	AHORROS ACCIDENTES PASAJEROS PROCEDENTE BUS		468.201	420.893	429.218	518.817	620.893	743.052	770.229	798.400
1.34	AHORROS ACCIDENTES PASAJEROS PROCEDENTE MOTO		666.877	604.246	613.252	741.268	887.111	1.061.648	1.100.477	1.140.726
1.35	AHORROS ACCIDENTES PASAJEROS PROCEDENTE AVIÓN		-287.392	-232.018	-171.433	-207.220	-247.990	-296.781	-307.635	-318.887
1.36	NUEVOS COSTES ACCIDENTES - INDUCIDO		-178.521	-166.820	-181.262	-219.100	-262.208	-313.796	-325.273	-337.170

Fuente: Elaboración propia

Los mayores ahorros son los generados por el trasvase de la demanda procedente del coche, medio de transporte cuyos índices de accidentalidad son elevados.

Figura 55. Ahorro por costes de accidentalidad. Año 2015



Fuente: Elaboración propia

Nuevamente, el tráfico inducido genera un coste, ya que dichos usuarios inicialmente no se desplazaban, no contando, por tanto, con riesgo de accidentalidad.

9.7 Conclusiones al ACB

Del análisis realizado desde el punto de vista económico-social, se pueden obtener una serie de conclusiones significativas. De forma global, debe mencionarse que desde todos los factores que se estudian en el Análisis Coste Beneficio, el Hyperloop es capaz de posicionarse como un medio de transporte muy positivo.

Los costes de inversión inicial estimados para el Hyperloop son inferiores a los registrados en el AVE. No obstante, no ocurre lo mismo en relación a los costes de reposición de activos durante la fase de explotación, donde el Hyperloop incurre en mayores costes.

En relación a los costes de explotación, el sistema Hyperloop cuenta con unas imputaciones menores que las registradas en el AVE.

Desde el punto de vista de los ahorros de tiempo, la alta velocidad a la que se desplaza el Hyperloop le permite posicionarse como el medio de transporte más destacado, incluso por encima del avión. Esto supone unos ahorros de costes asociados al tiempo de 68 millones € tan solo en el primer año de explotación (2008). La mayor aportación a este ahorro procede de los usuarios captados del AVE, ya que ésta es la mayor aportación de demanda al Hyperloop.

En cuanto a los ahorros de coste para los usuarios asociados al menor uso de sus vehículos propios (coche y moto), se alcanza un valor de casi 130 millones € en el año 2008. Asimismo, los usuarios finales también obtiene unos ahorros de coste considerables por la diferencia tarifaria entre el Hyperloop y el resto de medios de transporte. En este sentido, el ahorro asociado a los usuarios procedentes del AVE alcanza la cifra de 170 millones € en el año 2008. En relación al avión, la diferencia del precio de los billetes permite a los pasajeros generar un ahorro de 109 millones de € en el primer año de explotación.

En relación a las externalidades, los ahorros de coste generados son muy significativos. Por un lado, los ahorros asociados a los costes medioambientales (ruido, contaminación atmosférica y cambio climático). El Hyperloop es considerado un medio de transporte verde, con un bajo índice de contaminación, posicionándose favorablemente respecto al resto de medios de transporte. En este sentido, el primer año de explotación se generan unos ahorros de costes asociados al medioambiente de 93 millones de €. Cifra que para el año 2015 es de 74 millones €.

Desde el punto de vista de la accidentalidad, el Hyperloop también genera un ahorro de costes, principalmente por la demanda captada del coche. No obstante, debido a los ratios considerados, el Hyperloop genera ciertos costes en relación al avión y, por supuesto, por la demanda inducida.

De forma general, al asociar el Hyperloop a un medio de transporte más rápido que los actuales, más limpio y verde, con altos niveles de seguridad y, por lo tanto, bajos índices de accidentalidad, así como con un precio de billete inferior al resto de medios, es lógico obtener unos resultados del análisis económico-social tan favorables.

BLOQUE C

10 Análisis y Selección de los Modelos de Contratación

En el presente epígrafe se describen los modelos de contratación que viabilizan la implantación del AVE o del Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona. Con este objetivo, en primer lugar es necesario llevar a cabo un análisis del marco normativo español en lo relativo a las alternativas contractuales existentes.

En el caso del AVE se describe el modelo vigente desde el 1 de enero de 2005 cuando, a través de la Ley del Sector Ferroviario, la gestión de la red ferroviaria se dividió entre dos empresas, RENFE como operadora del material y los servicios ferroviarios, y ADIF como administradora de las infraestructuras.

Para la implantación del Hyperloop se lleva a cabo la evaluación de distintas alternativas, con el objeto de seleccionar, posteriormente, el modelo contractual considerado óptimo para el desarrollo del mismo. Para el desarrollo de este análisis se deben tener en cuenta las especiales características tecnológicas del Hyperloop como medio de transporte y las posibilidades de encaje dentro del marco normativo español.

Por último se describen otras estructuras de contratación, que son de aplicación tanto para el AVE como para el Hyperloop, que por sus características se entiende que resultan de especial interés.

10.1 Análisis del marco normativo español

El artículo 149.1.19ª de la Constitución Española atribuye al Estado competencia exclusiva sobre “ferrocarriles y transportes terrestres que transcurran por el territorio de más de una Comunidad Autónoma”. La atribución de la competencia viene asociada a la actividad, esto es, al servicio de “transporte” que se presta sobre la infraestructura.

Además del citado artículo 149 de la Constitución Española, a nivel nacional, es de aplicación la siguiente legislación:

- Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público (TRLCSP).
- Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres, LOTT 16/1987.
- Ley del Sector Ferroviario, Ley 29/2003.
- Ley 38/2015, de 29 de septiembre, del sector ferroviario.
- Directivas Europeas sobre el sector ferroviario. Compuestas por tres Directivas (años 1991 y 1995) que fueron las que rompieron el monopolio tradicional de empresas estatales y cuatro paquetes de Directivas de liberalización ferroviaria (años del 2001 al 2014), algunas de ellas incorporadas al ordenamiento español en la Ley 39/2003.

Tanto la LOTT como las Leyes del Sector Ferroviario son la legislación sectorial más relevante a nivel nacional, las Directivas a nivel europeo y el TRLCSP como regulatorio del proceso de contratación por parte del Sector Público.

La legislación de aplicación sobre el AVE es conocida y tiene un elevado nivel de desarrollo, sin embargo, conviene analizar con detenimiento la legislación actual que sería de aplicación sobre el Hyperloop, para lo cual resulta necesario analizar en qué modalidad de transporte, de entre las contempladas actualmente por la legislación, debería encajarse.

Hay que remontarse a la Ley 16/1987 de Ordenación de los Transportes Terrestres (LOTT), de 30 de julio, en particular al art. 1.1.3º donde se definieron los “transportes por ferrocarril”, a saber:

[... aquellos en los que los vehículos en los que se realizan circulan por un camino de rodadura fijo, que les sirven de sustentación y de guiado, constituyendo el conjunto camino-vehículo una unidad de explotación...], y al art. 150 donde se excluyeron de dicho modo de transporte a “*[...No se considerarán Incluidos en el concepto de ferrocarril los teleféricos u otros medios análogos de transporte que utilicen cable o cables, tractor y portador y que no tengan camino terrestre de rodadura..]*”.

En base a estos artículos, en el presente Estudio se cataloga al Hyperloop como transporte de ferrocarril al cumplir lo indicado en el artículo 1.1.3º de la LOTT y no estar incluido en la exclusión del artículo 150 de la misma ley ya que la vaina se desplaza por un camino terrestre de rodadura (aunque dicho camino vaya elevado por estructuras y no exista contacto físico entre los sistemas de guiado y la propia vaina). En cualquier caso se entiende que, en el caso en que se avanzase en la implantación de esta tecnología en el país, el legislador adaptaría la normativa a la nueva realidad y cabría la posibilidad de que se regulase a través de leyes diferenciadas que lo catalogasen como un nuevo modo de transporte.

10.2 Modelo contractual del AVE

En la actualidad, el sistema ferroviario español presenta un modelo de separación vertical, con una compañía para la gestión de la infraestructura (ADIF y ADIF-Alta Velocidad) y otra para la operación y gestión del material rodante (RENFE-Operadora).

Sin embargo, inicialmente no se presentaba dicha separación vertical, quedando todo el sistema bajo la misma compañía; la explotación del ferrocarril abarcaba la de la infraestructura y la de los servicios de transporte ferroviario. En este sentido, cabe mencionar que la **Ley 16/1987, de 30 de julio, de Ordenación de los Transportes Terrestres**, consideró que, en los transportes por ferrocarril, el conjunto camino-vehículo constituía una unidad de explotación, atribuyendo la explotación unitaria de las líneas y de los servicios de la denominada Red Nacional Integrada a Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (RENFE).

Con el paso del tiempo, la necesidad de convertir el ferrocarril en un modo de transporte competitivo y de abrir los mercados ferroviarios nacionales al transporte internacional de mercancías realizado por las empresas ferroviarias establecidas en cualquier Estado miembro de la Unión Europea, hizo preciso aprobar un conjunto de **Directivas dirigidas a dinamizar el sector ferroviario europeo**. Así, la Directiva 91/440/CEE del Consejo, de 29 de julio de 1991, sobre el desarrollo de los ferrocarriles comunitarios, modificada por la Directiva 2001/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2001, “*establece la necesidad de separar, al menos contablemente, la explotación de los servicios de transporte ferroviario y la administración de la infraestructura*”. Dicha Directiva exige a los Estados miembros la apertura de sus redes ferroviarias a las empresas y a las agrupaciones empresariales internacionales que presten determinados servicios de transporte internacional, principalmente de mercancías. Por su parte, la Directiva 95/18/CE del Consejo, de 19 de junio de 1995, sobre concesión de licencias a las empresas ferroviarias, estableció la necesidad de licencia para las empresas que

prestan los servicios a que se refiere la Directiva 91/440/CEE. Debido a que determinados Estados miembros decidieron ampliar los derechos de acceso más allá de lo previsto en la Directiva 91/440/CEE, la Directiva 2001/13/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2001 modificó la Directiva 95/18/CE en el sentido de generalizar los principios de concesión de licencias a todas las empresas activas en el sector con objeto de garantizar a éstas un trato justo, transparente y no discriminatorio.

La Directiva 2001/14/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2001, relativa a la adjudicación de capacidad de infraestructuras ferroviarias, aplicación de cánones por su utilización y certificación de la seguridad, *“pretende garantizar a las empresas ferroviarias el acceso a la infraestructura en condiciones objetivas, transparentes y no discriminatorias y garantizar la seguridad en la prestación de los servicios de transporte ferroviario”*. Por último, la Directiva 2001/16/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de marzo de 2001, relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo convencional, *“pretende fijar las condiciones que deben cumplirse para lograr, en el territorio comunitario, la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo convencional. Dichas condiciones se refieren al proyecto, a la construcción, a la puesta en servicio, a la rehabilitación, a la renovación, a la explotación y al mantenimiento de los elementos de dicho sistema que entren en servicio después de la fecha de entrada en vigor de la referida Directiva (el día de su publicación en el “Diario Oficial de las Comunidades Europeas”), así como a las cualificaciones profesionales y a las condiciones de salud y de seguridad del personal que contribuye a su explotación”*.

Los ejes principales sobre los que se apoya la reforma son la separación de las actividades de administración de la infraestructura y de explotación de los servicios y la progresiva apertura del transporte ferroviario a la competencia. La consecución de estos objetivos requería de una profunda modificación de las estructuras y funciones de los agentes del sector ferroviario, así como la creación de otros nuevos que velasen por la debida aplicación de la nueva normativa.

La **ley 39/2003, de 17 de noviembre, del Sector Ferroviario**, no se limita únicamente a incorporar al derecho español las normas comunitarias mencionadas, sino que reordena por completo el sector ferroviario nacional y sienta las bases que permiten la progresiva entrada de nuevos actores en el mercado. Con la idea de alcanzar estos objetivos, **la ley regula la administración de las infraestructuras ferroviarias y encomienda ésta a la entidad pública empresarial Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (RENFE) que pasa a denominarse Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) e integra, además, al Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF)**. La ley le otorga a dicha entidad pública empresarial Administrador de Infraestructuras Ferroviarias la capacidad de construir, de acuerdo con lo que determine el Ministerio de Fomento, las infraestructuras ferroviarias con cargo a sus propios recursos o a recursos ajenos. Asimismo, le otorga la administración de las infraestructuras de su titularidad y aquellas cuya administración se le encomiende mediante el oportuno convenio.

Asimismo, con dicha ley nace una nueva **entidad pública empresarial denominada RENFE-Operadora, como empresa prestadora del servicio de transporte ferroviario** cuyo cometido es, básicamente, ofrecer a los ciudadanos la prestación de todo tipo de servicios ferroviarios. En este sentido, RENFE-Operadora asume, en los plazos y en la forma que la ley prevé, los medios y activos que RENFE ha tenido afectos a la prestación de servicios ferroviarios.

En definitiva, la entrada en vigor en 2004 de la Ley del Sector Ferroviario supuso una completa reordenación del sector ferroviario estatal que pasó a organizarse según un modelo vertical.

Posteriormente, continúa la reestructuración del sector ferroviario en España y, a través de la aplicación del Real Decreto ley 22/2012, de adopción de medidas para la racionalización y

reestructuración del sector ferroviario, se integran en ADIF los activos y pasivos y personal de la entidad pública empresarial Ferrocarriles de Vía Estrecha (FEVE) relacionados con la infraestructura, mientras que pasan a RENFE todos aquellos relacionados con la operación del servicio.

En 2013, con la entrada en vigor del Real Decreto ley 4/2013, las infraestructuras ferroviarias y estaciones que constituían la red de titularidad del Estado y cuya administración tenía encomendada ADIF, pasaron a ser de su propia titularidad.

Con la entrada en vigor del Real Decreto-ley 15/2013 de 13 de diciembre, **ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) experimenta una escisión en ADIF y ADIF Alta Velocidad (ADIF-AV)**. Como consecuencia de esta escisión, ADIF es la responsable de la construcción, mantenimiento y explotación de la red convencional, incluyendo la gestión de sus estaciones y las actividades relacionadas con patrimonio y urbanismo y servicios logísticos, mientras que ADIF-AV es responsable de la construcción, mantenimiento y explotación de la red de alta velocidad, así como de las actividades relacionadas con telecomunicaciones y energía y medio ambiente (dando soporte en estas actividades a ADIF).

Según esta última normativa, ADIF y ADIF-AV pueden encomendarse, mediante la suscripción de convenios, la realización de determinadas actividades, incluida la gestión de la capacidad de la infraestructura (por la interconexión de las redes cuya administración tienen atribuidas ambas entidades) y la gestión de los sistemas de control, circulación y seguridad. Por Resoluciones de los Presidentes de ADIF y ADIF-AV de 31 de diciembre de 2013, ambas entidades se encomendaron mutuamente la realización de determinadas tareas y posteriormente se redactaron los correspondientes convenios que establecían las condiciones de dicha encomienda de gestión. Las actividades a realizar para la prestación de los servicios acordados se detallan en adendas a dichos convenios.

10.2.1 [ADIF](#)

ADIF es una Entidad Pública Empresarial, adscrita al Ministerio de Fomento, que goza de personalidad jurídica propia, plena capacidad de obrar y patrimonio propio.

Según se puede leer actualmente en la página web de la compañía, ésta tiene por objeto potenciar el transporte ferroviario español mediante el desarrollo y la gestión de un sistema de infraestructuras seguro, eficiente, sostenible desde el punto de vista medioambiental, y con altos estándares de calidad.

En el desarrollo de su actividad, ADIF asume las siguientes funciones:

- La administración de infraestructuras ferroviarias (vías, estaciones, terminales de mercancías, etc.).
- La gestión de la circulación ferroviaria.
- La adjudicación de capacidad a los operadores ferroviarios.
- La percepción de cánones por el uso de la infraestructura, estaciones y terminales de mercancías.

Las principales actividades de ADIF son la construcción, explotación y mantenimiento de las infraestructuras ferroviarias de la red convencional, entre las que se incluye la gestión de las estaciones. La seguridad es una prioridad en la gestión de las actividades anteriores, entendiéndola desde un punto de vista integral, es decir, considerando la seguridad en la circulación, la seguridad de las personas y bienes, y la seguridad y salud de los trabajadores.

- **Construcción:** La actividad constructiva de ADIF engloba tanto la construcción de nuevas infraestructuras dentro de la red convencional (vías, túneles, viaductos, etc.), así como la modernización y renovación de los activos de la red ferroviaria de interés general. ADIF lleva a cabo las labores de construcción de las infraestructuras ferroviarias tras petición específica del Ministerio de Fomento o bien, tras propuestas propias o de otros terceros interesados.
- **Explotación:** ADIF es la encargada de la gestión y administración en la explotación de las infraestructuras ferroviarias de interés general de su titularidad y de aquellas cuya gestión sea de su responsabilidad. Entre las principales actuaciones de explotación de ADIF cabe destacar la gestión del tráfico ferroviario, el cálculo de cánones por la utilización de las infraestructuras ferroviarias, estaciones y otras instalaciones ferroviarias y la explotación de las estaciones de viajeros, entre otras. Para llevar el control y mantener todo el sistema ferroviario funcionando a su máxima capacidad y a pleno rendimiento, y evitar, en la medida de lo posible, que las incidencias afecten a la normalidad del tráfico, ADIF cuenta con una red de Centros de Gestión de Tráfico, que se encargan de llevar este control y que coordinan la explotación ferroviaria
- **Mantenimiento:** El mantenimiento de la infraestructura ferroviaria es el conjunto de operaciones de conservación, reparación, reposición y actualización tecnológica de los diferentes elementos que conforman la red. Su objetivo es el de mantener operativa la red de forma continua para asegurar su correcto funcionamiento, y por ello se llevan a cabo tres tipos de actividades: mantenimiento preventivo, correctivo y actuaciones de mejora.
- **Seguridad integral el sistema ferroviario:** La cultura de seguridad de ADIF se basa en la evaluación de los riesgos para poder aplicar las medidas preventivas, correctivas y de mejora necesarias para la minimización de dichos riesgos.
 - Protección y seguridad: Seguridad en infraestructuras e instalaciones de la compañía mediante la implementación de los sistemas y protocolos oportunos en casos de emergencia, en colaboración con las entidades públicas competentes.
 - Seguridad en la circulación ferroviaria: Control de los riesgos inherentes a la circulación de los trenes, derivados de la propia actividad de ADIF y de las Empresas Operadoras, dando a los usuarios la confianza en la red por la que transitan.
 - Prevención de Riesgos Laborales: Compromiso con la seguridad y salud de los trabajadores propios, colaborando con otras empresas para conocer y controlar los riesgos derivados de la interacción con contratistas y proveedores, así como de todo aquel que desempeñe un trabajo puntual o de larga duración para ADIF.

El entorno en el que opera ADIF marca la estrategia y las prioridades de gestión de la entidad. En este sentido, las directrices establecidas por el Ministerio de Fomento, fundamentalmente en el Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (PITVI) y su Plan Estratégico, así como el marco regulatorio, son las principales palancas para la estrategia de ADIF.

10.2.2 [ADIF-Alta Velocidad](#)

ADIF-Alta Velocidad es una entidad pública empresarial adscrita al Ministerio de Fomento con personalidad jurídica y patrimonio propios, que nace tras la segregación de ADIF en dos entidades. Asume, entre otras, las competencias en materia de construcción y administración de parte de las infraestructuras ferroviarias de alta velocidad, así como otras infraestructuras y funciones que se transfieren, los negocios de estaciones de alta velocidad o las actividades de telecomunicaciones y de energía.

La segregación, en razón de su respectiva actividad principal y las notables diferencias que presentan tanto desde el punto de vista técnico como económico y de financiación, ha sido aprobada por el Real

Decreto-ley 15/2013, de 13 de diciembre, sobre reestructuración de la entidad pública empresarial "Administrador de Infraestructuras Ferroviarias" (ADIF) y otras medidas urgentes en el orden económico.

Esta responde, entre otros, a los criterios de profundizar en la racionalización del sector ferroviario en el ámbito de competencia estatal, lograr la máxima eficiencia de los servicios en un escenario de progresiva liberalización y alcanzar la estabilidad presupuestaria.

De este modo, el objetivo fundamental de la segregación es el cumplimiento de las modificaciones operadas por el Sistema Europeo de Cuentas (SEC 2010) y los nuevos criterios contables establecidos en el mismo.

Para garantizar su sostenibilidad financiera, **ADIF Alta Velocidad se financia con ingresos de mercado procedentes de los operadores ferroviarios y otras fuentes, asumiendo igualmente la deuda derivada de los bienes patrimoniales transmitidos; en tanto que ADIF se financia, además de con los ingresos percibidos de los operadores, con transferencias desde el presupuesto estatal, por lo que computa en el sector de las administraciones públicas en términos de contabilidad nacional, pero sin impacto significativo en el déficit.**

En este contexto, ADIF se ocupa de la administración de la red convencional y de ancho métrico, así como de otras actividades asociadas y, en general, los negocios no transferidos a ADIF-AV, como son patrimonio, estaciones de la red convencional, comunicación, internacional, etc.

El Real Decreto-Ley referido anteriormente prevé igualmente la posibilidad de encomienda, mediante la suscripción de los oportunos convenios de prestación de servicios, de la realización por ADIF de determinadas actividades para ADIF Alta Velocidad, incluida la gestión de los sistemas de control de la circulación y de la capacidad de las infraestructuras, el mantenimiento, la protección y seguridad ciudadana, funciones corporativas, etc.

10.2.3 [RENFE-Operadora](#)

La entidad pública empresarial RENFE-Operadora (matriz del Grupo Renfe), es un organismo público de los previstos en el artículo 43.1.b) de la Ley 6/1997, de 14 de abril, de Organización y Funcionamiento de la Administración General del Estado, que se halla adscrita al Ministerio de Fomento. Tiene personalidad jurídica propia y diferenciada de la del Estado, plena capacidad jurídica y de obrar para el cumplimiento de sus fines, patrimonio y tesorería propios, en los términos establecidos en la disposición adicional tercera de la Ley 39/2003, de 17 de noviembre, del Sector Ferroviario, y en su Estatuto. En el ejercicio de sus funciones, RENFE-Operadora actúa con autonomía de gestión, dentro de los límites establecidos en la Ley del Sector Ferroviario, en su Estatuto y en la legislación que le sea de aplicación.

Según se lee actualmente en su propia página web, RENFE *“tiene la misión de prestar servicios de transporte de viajeros y mercancías bajo el principio de seguridad, con criterios de calidad, eficiencia, rentabilidad e innovación, con vocación de servicio público y con el objetivo de incrementar la cuota de mercado del ferrocarril como operador ferroviario de referencia”*.

El Grupo RENFE se estructuró en cuatro sociedades mercantiles estatales con fecha de 1 de enero de 2014, como contempla el RD-ley 22/2012 de 20 de julio. El objetivo de este modelo organizativo es preparar a la compañía para competir en un mercado liberalizado, dotándola de un marco adecuado para abordar y dinamizar dicho proceso. En este mismo sentido, se hace necesario dotar de personalidad jurídica propia a las sociedades, de tal forma que los balances y cuentas de resultados constituyan la base de la toma de decisiones empresariales y de servicio público.

Dicho modelo empresarial se organiza bajo la Entidad Pública Empresarial RENFE-Operadora como propietaria del 100% de las acciones de las cuatro nuevas sociedades y que, como matriz, es la encargada de definir la política y estrategia de negocio del grupo, y de buscar una gestión eficiente centrada en funciones corporativas y de servicios.

Las sociedades mercantiles estatales se organizan en base a las cuatro líneas de actividad principal, a saber:

- Renfe Viajeros. Transporte de viajeros y comercialización de productos asociados en entornos metropolitanos, regionales, nacionales e internacionales.

Tiene por objeto social la prestación de servicios de transporte de viajeros por ferrocarril, nacionales e internacionales, la mediación en la prestación de cualesquiera servicios turísticos, organización, oferta y/o comercialización de viajes combinados o productos turísticos, así como la prestación de otros servicios o actividades complementarias vinculadas al transporte ferroviario.

- Renfe Mercancías. Transporte de mercancías y servicios logísticos.

Tiene por objeto social la prestación de servicios de transporte de mercancías por ferrocarril como operador logístico ferroviario, capaz de gestionar o participar en cualquier cadena de logística integral, tanto nacional como internacional, así como la prestación de otros servicios o actividades complementarias o vinculadas al transporte ferroviario de mercancías.

- Renfe Fabricación y Mantenimiento. Mantenimiento y trabajo industrial.

Esta sociedad tiene por objeto social la prestación de servicios de fabricación, mantenimiento y transformación de material rodante, la reparación de componentes ferroviarios, servicios de consultoría de ingeniería y gestión de instalaciones, diseño y entrega de talleres, así como la prestación de otros servicios o actividades complementarias o vinculadas a los mismos.

- Renfe Alquiler de Material Ferroviario. Gestión de material rodante a disposición del mercado.

Esta sociedad de nueva creación, tiene por objeto la prestación de los servicios ferroviarios de venta, alquiler o cualquier otra forma de puesta a disposición de material rodante del que es titular, así como de sus instalaciones, de la gestión y explotación del material rodante de terceros, además de la prestación de otros servicios o actividades complementarias o vinculadas a los mismos.

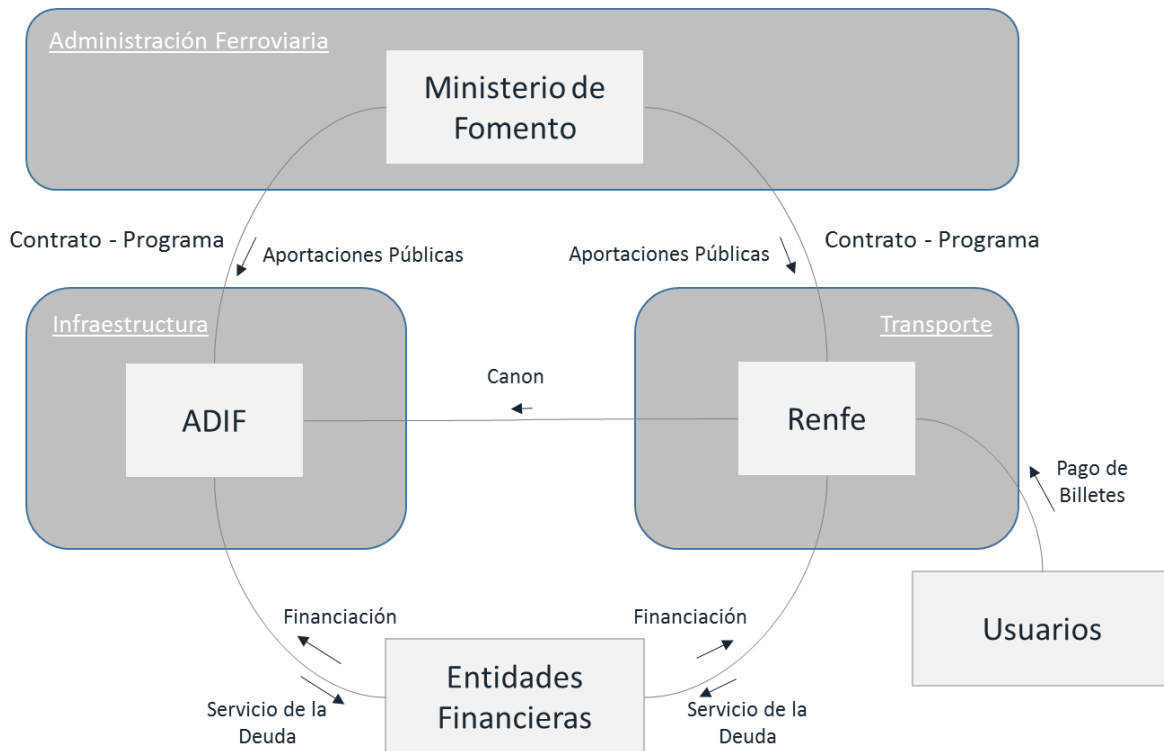
RENFE, como operador del servicio está sometido a una serie de cánones que son cobrados por ADIF y ADIF-AV. El canon se agrupa básicamente en dos áreas, a saber:

- Canon por uso de las líneas ferroviarias, donde se incluye el canon por acceso, reserva de capacidad, por circulación y por tráfico.
- Canon por uso de las estaciones y otras instalaciones, que incluye el uso de instalaciones por parte de viajeros, por estacionamiento y uso de andenes, por el paso por cambiadores de ancho, etc.

En relación a RENFE, no es posible subvencionar el transporte ferroviario de Larga Distancia y Alta Velocidad, tan solo los servicios públicos declarados como OSP (Obligaciones de Servicio Público) que se corresponden con parte de las cercanías y media distancia.

RENFE cuenta con un Contrato-Programa que es el marco de referencia para llevar a alcanzar los objetivos establecidos en el PEIT y en el Plan Estratégico. En dicho Contrato-Programa se determinan aspectos como la aportación pública (compensación por prestación de Servicios OSP), la política en relación al transporte (apertura a la competencia), ampliación de la red, etc.

Figura 56. Estructura contractual del AVE



Fuente: Elaboración Propia

10.3 Modelo contractual del Hyperloop

La implantación del Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona presenta una serie de diferencias con relación a la implantación del AVE que implican ciertos condicionantes por lo que no es óptimo replicar el mismo modelo de contratación que en el AVE:

- El Hyperloop se presenta como un modo de transporte nuevo en España, si bien en el marco de este Estudio se asume que habría sido favorablemente testado en otros países, tal y como se establece en el epígrafe de Objeto y Alcance. Por tanto, resulta conveniente implicar al máximo a los actores internacionales que cuenten con conocimientos prácticos en la materia.
- En el caso del Hyperloop, al contrario que en el AVE, no existiría en España una entidad o entidades públicas con conocimientos acumulados sobre la construcción y la explotación de la infraestructura, mientras que sí existen instituciones públicas en España (RENFE y ADIF) con experiencias previas en sistemas ferroviarios de alta velocidad.
- La implantación del Hyperloop partiría prácticamente de cero, sin la posibilidad de aprovechar infraestructuras o equipamientos existentes, como sí que sucedería en el caso del AVE. Únicamente serían aprovechables las estaciones en las tres ciudades que conectará el Hyperloop, que actuarían como estación intermodal para la transferencia de viajeros. La puesta en servicio del Hyperloop no podría, por tanto, realizarse de manera gradual, mejorando pequeños tramos de una infraestructura existente, sino que sería necesario construir toda la infraestructura o, en todo caso, inaugurando previamente uno de los dos tramos desde un extremo del corredor hasta la estación central de Zaragoza.

Debido a estas particularidades diferenciales, **la implantación del Hyperloop no podría replicar el mismo modelo que en la implantación del AVE en lo relativo a su estructuración contractual.**

Mientras que el modelo de concesión institucional basado en una entidad pública empresarial resulta el más adecuado para lanzar la construcción y explotación de unas características como la del AVE, para maximizar la eficiencia en la prestación del servicio tras la implantación del Hyperloop, se planteará un **modelo contractual basado en las siguientes premisas:**

- Separación vertical.
- Concesión institucional del constructor y gestor de la infraestructura.
- Concesión de Gestión de Servicio Público adjudicada a través de un proceso de Colaboración Público Privada con Diálogo Competitivo, para la explotación del servicio.

El modelo de separación vertical se ha impuesto en Europa en el modal ferroviario como el sistema que permite tender a una mayor competencia entre distintos actores económicos, redundando por tanto en una mayor eficiencia en la provisión de los servicios de transporte. Según este modelo, el sistema ferroviario se divide en una o varias entidades poseyendo y administrando la infraestructura, y una o varias entidades controlando unas sociedades de explotación de trenes ofreciendo servicios de transportes. Otra de las razones por las que se está tendiendo al modelo de separación vertical en el modal ferroviario es que se puede fomentar la participación del sector privado en las explotaciones de transporte, mientras que el Estado puede conservar la propiedad y el control sobre la red ferroviaria.

Una vez que se opta por la separación vertical para estructurar la implantación del Hyperloop en el corredor Madrid Barcelona, se debe decidir el modelo contractual que regirá cada uno de los dos ámbitos de negocio dentro del sistema, el del gestor de la infraestructura y el del prestador del servicio de transporte. En los siguientes epígrafes se desarrollan las propuestas para cada uno de estos ámbitos.

10.3.1 Concesión de Gestión de Servicio Público, adjudicada a través de un proceso de Colaboración Público Privada con Diálogo Competitivo, para la explotación del servicio

La explotación del servicio de provisión de servicios de transporte a través del Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona la ejecutaría una empresa privada autorizada en base a las condiciones definidas en un contrato de concesión de gestión de servicio público. Previamente a la contratación deberá haberse establecido su régimen jurídico, declarando expresamente que la actividad de transporte a través del Hyperloop queda asumida por la Administración como propia, determinando el alcance de estas prestaciones, y regulando los aspectos de carácter jurídico, económico y administrativo relativos a la prestación del servicio. El contrato de concesión de gestión deberá expresar con claridad el ámbito de la gestión, tanto en el orden funcional, como en el territorial y deberá, por su propia condición de contrato de concesión, establecer los términos que aseguren que el empresario gestionará el servicio a su propio riesgo y ventura.

De este modo, el alcance de este contrato de concesión definirá las siguientes características de la explotación del sistema de transporte en el corredor Madrid-Barcelona a través del Hyperloop:

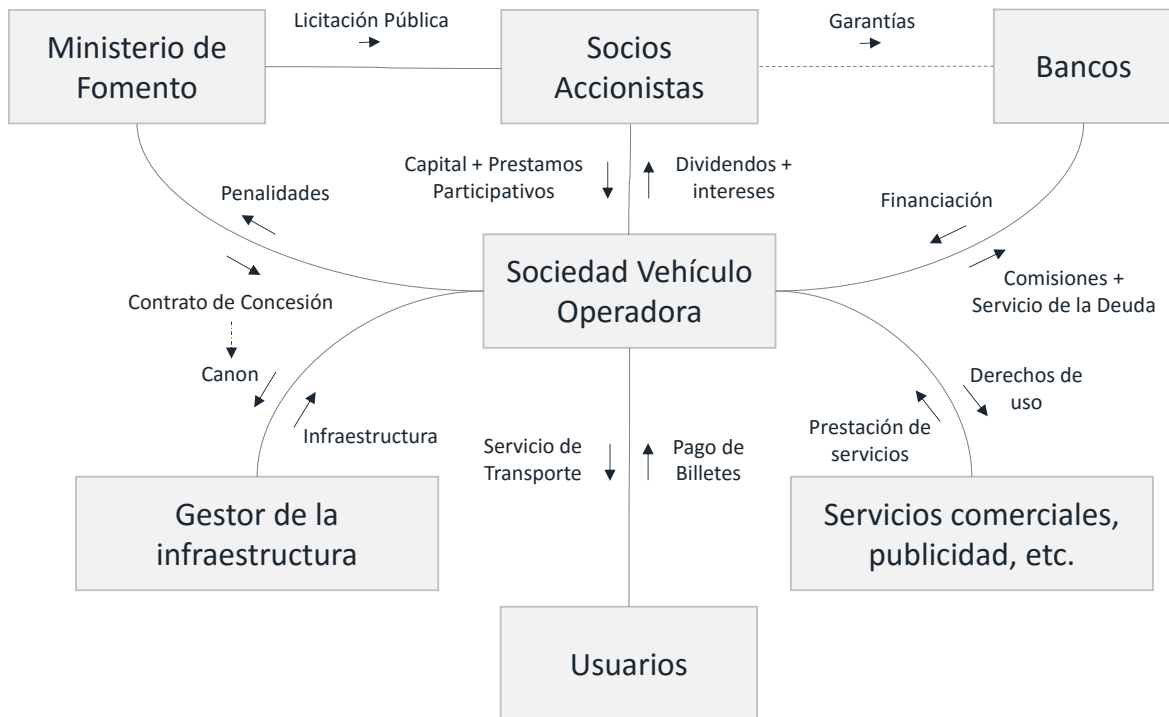
- **Selección de la tecnología adoptada.** Se definirá la tecnología que servirá como base para la provisión de servicio.
- **Explotación cumpliendo unos niveles de calidad del servicio.** Se definirán las características que deberá cumplir el servicio, tales como frecuencia, tiempos de viaje, condiciones de confort, etc. Estos niveles de calidad del servicio podrían estar ligados a bonificaciones y penalizaciones automáticas para el operador.

- **Compra de material móvil y su mantenimiento.** Se definirán las características técnicas y de servicio de las vainas, así como el número mínimo de vainas que deberán estar disponibles en cualquier momento a lo largo de la vida de la concesión.
- **Elaboración del proyecto constructivo de la infraestructura.** El operador del servicio será el responsable de ejecutar, en un plazo y con un nivel de detalle predefinidos, el proyecto constructivo que servirá como base para la posterior construcción de la infraestructura por parte del gestor de la infraestructura.

En el procedimiento de adjudicación del contrato de concesión, y de acuerdo con las normas reguladoras del régimen jurídico del servicio, los pliegos de cláusulas administrativas particulares y de prescripciones técnicas fijarán las condiciones de prestación del servicio y las tarifas que abonarán los usuarios, los procedimientos para su revisión, así como el canon que deberá satisfacer al gestor de la infraestructura para sufragar los gastos de su mantenimiento y para, en la medida de lo posible, resarcir los costes correspondientes a las inversiones.

La adjudicación de la operación del Hyperloop se caracterizará por una gran cantidad de particularidades que hacen recomendable estructurarlo a través del procedimiento de contratación de Colaboración Público Privada con Diálogo Competitivo. Para poder optar por este procedimiento de contratación, y tal como establece el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público, previamente a la iniciación del expediente de contrato, la entidad contratante (en este caso el Ministerio de Fomento) deberá elaborar un documento de evaluación en el que se ponga de manifiesto que, habida cuenta de la complejidad del contrato, la Administración no está en condiciones de definir, con carácter previo a la licitación, los medios técnicos necesarios para alcanzar los objetivos proyectados para llevar a cabo el contrato, y en el que se efectúe un análisis comparativo con formas alternativas de contratación que justifiquen en términos de obtención de mayor valor por precio, de coste global, de eficacia o de imputación de riesgos, los motivos de carácter jurídico, económico, administrativo y financiero que recomienden la adopción de esta fórmula de contratación.

Figura 57. Concesión de Gestión de Servicio Público para la Explotación del Hyperloop



Fuente: Elaboración Propia

Debido a las características del Hyperloop, que en el marco de análisis de este Estudio se plantea como un modo de transporte viable técnicamente pero que únicamente se ha puesto en explotación en contadas ocasiones y fuera de España, resultaría relativamente sencillo justificar la necesidad de optar por este procedimiento de contratación, ya que la administración pública española no contaría con el conocimiento técnico necesario para que, a través de sus propios medios, pueda garantizar que optará por la alternativa tecnológica y el oferente que proveerán el servicio de mayor calidad y de la manera más eficiente. El procedimiento de adjudicación de Colaboración Público Privada con Diálogo Competitivo se presenta como el más adecuado al proporcionar el necesario intercambio de información entre la Administración y los actores privados propietarios del conocimiento tecnológico, a través de un cauce reglado para garantizar la publicidad y la libre competencia.

En el diálogo competitivo, el órgano de contratación dirige un dialogo con los candidatos seleccionados a fin de desarrollar una o varias soluciones susceptibles de satisfacer sus necesidades y que servirán de base para que los candidatos elegidos presenten una oferta. La legislación permite que el Ministerio de Fomento promueva la participación de las empresas en este proceso estableciendo primas o compensaciones para los participantes en el diálogo de modo que se pueda resarcir totalmente, o en parte, los mayores costes asociados a la participación en esta modalidad de contratación.

La adjudicación se deberá realizar mediante un concurso abierto a todos los actores privados que puedan estar preparados y cuenten con el conocimiento tecnológico necesario para poner en servicio un sistema de este tipo. El Ministerio de Fomento deberá publicar un anuncio de licitación en el que dará a conocer sus necesidades y requisitos, que definirá en dicho anuncio o en un documento descriptivo.

El Ministerio de Fomento, a la vista de los resultados de la evaluación, elaborará un programa funcional que contendrá los elementos básicos que informarán el dialogo con los contratistas y que

se incluirá en el documento descriptivo del contrato. Particularmente, se identificará en el programa funcional la naturaleza y dimensión de las necesidades a satisfacer, los elementos jurídicos, técnicos o económicos mínimos que deben incluir necesariamente las ofertas para ser admitidas al dialogo competitivo, y los criterios de adjudicación del contrato.

Este documento descriptivo servirá para convocar la licitación pero no se convertirá en el pliego de condiciones de la contratación hasta que no se dé por terminado el diálogo competitivo y se incorporen las estipulaciones propias de este tipo de contratos.

El Ministerio de Fomento señalará un número suficiente de candidatos invitados para garantizar una competencia efectiva. En el anuncio de licitación se indicarán también los criterios objetivos y no discriminatorios con arreglo a los cuales se seleccionará a los candidatos, así como el número mínimo y, en su caso, el número máximo de aquellos a los que se invitara a presentar proposiciones. Una vez comprobada la solvencia de los solicitantes, el Ministerio de Fomento seleccionará a los que deban pasar a la siguiente fase.

De este modo, el Ministerio de Fomento desarrollará con los candidatos seleccionados un diálogo cuyo fin será determinar y definir los medios adecuados para la futura explotación del servicio de transporte de pasajeros a través del Hyperloop. Es conveniente resaltar que el Ministerio no podrá revelar a los demás participantes las soluciones propuestas por un participante u otros datos confidenciales que se comuniquen sin previo acuerdo de éste; este carácter afecta, en particular, a los secretos técnicos o comerciales y a los aspectos confidenciales de las ofertas.

Tras declarar cerrado el dialogo e informar de ello a todos los participantes, el Ministerio de Fomento les invitará a que presenten su oferta final, basada en la solución o soluciones presentadas y especificadas durante la fase de diálogo.

El Ministerio de Fomento evaluará las ofertas presentadas por los licitadores en función de los criterios de adjudicación establecidos en el anuncio de licitación o en el documento descriptivo y seleccionará la oferta económicamente más ventajosa. Para esta valoración habrán de tomarse en consideración, necesariamente, varios criterios, sin que sea posible adjudicar el contrato únicamente basándose en el precio ofertado. Los criterios de adjudicación se fundamentarían en una oferta económica y una técnica.

La oferta técnica podría basarse en las características de la operación del sistema a implantar, precisando la ponderación relativa atribuida a cada uno de ellos. A modo de ejemplo, se entiende que los siguientes criterios podrían ser objeto de evaluación en la oferta técnica: el tiempo necesario para realizar el trayecto entre la estación de Madrid y Barcelona, la frecuencia mínima entre vainas, el número máximo de pasajeros a transportar por minuto, la sección de tubo necesaria o los requisitos técnicos de la infraestructura en cuanto a las tensiones que deberá soportar el tubo de acero o los pilares de sujeción. De este modo se podrán valorar positivamente las ofertas que supongan una mayor eficiencia en el sistema al proveer un sistema de mayor calidad a un mayor número de personas requiriendo al mismo tiempo una menor inversión en la infraestructura.

La oferta económica se limitaría a un único concepto, de modo que se simplifique al máximo la evaluación y se maximice la objetividad a la hora de medir a los distintos licitadores. El criterio económico sería el del importe asociado al canon que el operador del sistema pagaría por cada pasajero transportado. Este canon se transferiría al gestor de la infraestructura para que sufrague los costes correspondientes al mantenimiento de la misma y se pueda resarcir, en la medida de lo posible, los costes incurridos en la inversión para la construcción de la misma. Se fijaría un valor máximo de la tarifa que el operador del Hyperloop podría cobrar a cada pasajero, si bien podría en cualquier

momento disminuir el coste de los billetes en función de su política comercial (incrementando, a través de una gestión activa de los precios, el número de viajeros y maximizando los ingresos totales).

Los licitadores deberán acompañar la oferta económica en la que definen un valor de canon por viajero·km transportado con un Plan Económico Financiero que respete las condiciones definidas en los pliegos de la licitación (plazo de la concesión, tarifa máxima para los billetes, etc.) y sus propios costes e ingresos estimados; de modo que se pueda comprobar que la oferta económica es viable. Este Plan Económico Financiero servirá de base en futuras evaluaciones de la concesión o ante eventuales reequilibrios económicos.

El Ministerio de Fomento podrá requerir al licitador cuya oferta se considere más ventajosa económicamente que aclare determinados aspectos de la misma o ratifique los compromisos que en ella figuran, siempre que con ello no se modifiquen elementos sustanciales de la oferta o de la licitación, se falsee la competencia, o se produzca un efecto discriminatorio. Si el Ministerio de Fomento, considerando la justificación efectuada por el licitador, estimase que la oferta no puede ser cumplida como consecuencia de la inclusión de valores anormales o desproporcionados, acordará la adjudicación provisional a favor de la siguiente oferta económicamente más ventajosa, que no sea considerada anormal o desproporcionada.

Los criterios que han de servir de base para la adjudicación del contrato se determinarán por el Ministerio de Fomento y se detallarán en el anuncio, en los pliegos de cláusulas administrativas particulares o en el documento descriptivo. Las ofertas de los interesados deberán ajustarse a lo previsto en el pliego de cláusulas administrativas particulares, y su presentación supone la aceptación incondicionada del contenido de la totalidad de dichas cláusulas o condiciones, sin salvedad o reserva alguna.

El contrato se regirá por las normas generales del TRLCSP y por las especiales correspondientes al contrato de Concesión de Gestión de Servicio Público. Estas normas delimitarán los deberes y derechos de las partes y las prerrogativas de la Administración. El contrato de concesión entre el Ministerio de Fomento y el adjudicatario deberá incluir necesariamente estipulaciones referidas a los siguientes aspectos:

- Identificación de las prestaciones principales que constituyen su objeto.
- Condiciones de reparto de riesgos entre la Administración y el contratista.
- Objetivos de rendimiento asignados al contratista.
- Remuneración del contratista.
- Causas y procedimientos para determinar las variaciones de la remuneración a lo largo del periodo de ejecución del contrato.
- Fórmulas de pago.
- Fórmulas de control por la administración de la ejecución del contrato.
- Sanciones y penalidades aplicables en caso de incumplimiento de las obligaciones del contrato.
- Condiciones en que puede procederse por acuerdo o, a falta del mismo, por una decisión unilateral de la Administración, a la modificación de determinados aspectos del contrato o a su resolución, particularmente en supuestos de variación de las necesidades de la Administración, de innovaciones tecnológicas o de modificación de las condiciones de financiación obtenidas por el contratista.
- Control que se reserva la Administración sobre la cesión total o parcial del contrato.

- Destino de las obras y equipamientos objeto del contrato a la finalización del mismo.
- Garantías que el contratista afecta al cumplimiento de sus obligaciones.
- Referencia a las condiciones generales y, cuando sea procedente, a las especiales que sean pertinentes en función de la naturaleza de las prestaciones principales, que la Ley establece respecto a las prerrogativas de la administración y a la ejecución, modificación y extinción de los contratos.

10.3.2 Concesión institucional del constructor y gestor de la infraestructura

Para la puesta en servicio del Hyperloop, una vez se haya definido la tecnología a implantar y el operador que proveerá el servicio de transporte de pasajeros, será necesario que una entidad pública acometa los trabajos para la construcción de la infraestructura. Se entiende que, debido a los elevados riesgos tecnológicos asociados a este tipo de infraestructura, y ante las extraordinarias inversiones necesarias, la estructuración de la construcción de la infraestructura del Hyperloop a través de un contrato concesional al uso resulta de muy difícil ejecución. Tal y como se explicará en el epígrafe correspondiente al análisis de la viabilidad económica del sistema, el sistema resulta difícilmente autofinanciable, al menos en las condiciones definidas en el documento *Hyperloop Alpha*. Por otro lado, aún en el caso en que se viabilizase la inversión a través de aportaciones públicas o mediante unas condiciones mejoradas que minoren los costes o aumenten los ingresos, los elevados riesgos asociados a este nuevo sistema de transporte supondrían que los inversores, tanto en deuda como en capital, exigiesen unos rendimientos asociados a su inversión muy elevados. Las mayores rentabilidades exigidas por los inversores harían inviable la financiación o, en todo caso, afectarían a la eficiencia del sistema provocando que la promoción con capitales privados resultase sustancialmente menos económica que la promoción a través de estructuras de inversión fundadas en entes públicos.

En base a este análisis, y una vez que se ha definido que la construcción de la infraestructura del Hyperloop resultaría únicamente viable, o en todo caso más eficiente económicamente, si fuese promocionada a través de entidades públicas; se concluye que la mejor alternativa contractual para viabilizar esta inversión sería la de la “concesión institucional” a través de un ente público empresarial.

El alcance de los servicios que ejecutaría el ente público empresarial responsable de la gestión de la infraestructura es el siguiente:

- **Construcción de la infraestructura diseñada por el adjudicatario de la operación.** La construcción la licitaría el gestor de la infraestructura en base al proyecto constructivo suministrado por el operador del servicio. En todo caso los contratos de construcción serían bajo la modalidad llave en mano, de modo que los contratistas estarían obligados a revisar y eventualmente adaptar el proyecto constructivo, haciéndolo suyo y asumiendo en todo caso el riesgo de diseño.
- **Gestión y mantenimiento de la infraestructura.** Una vez que la infraestructura haya sido recibida por el gestor de la infraestructura, éste será el responsable de realizar las labores de mantenimiento de la misma, las reinversiones y las actualizaciones de los sistemas.
- **Explotación de las áreas comerciales, aparcamientos, publicidad, fibra óptica, etc.** El gestor de la infraestructura contaría con una fuente de ingresos, adicional al canon que recibiría del operador de la infraestructura, vinculada a los negocios que se generarían alrededor de la infraestructura, tales como los correspondientes a los aprovechamientos comerciales y los aparcamientos en las estaciones, el alquiler de espacios publicitarios en las estaciones y en el

tubo, la cesión de ancho de banda en las instalaciones de fibra óptica, etc. En el siguiente epígrafe se trata con mayor detalle la estructura contractual asociada a estos negocios.

La construcción de la infraestructura y su posterior mantenimiento a través de un ente público empresarial presenta las siguientes ventajas:

- La construcción de la infraestructura se deberá ejecutar en base a los procedimientos definidos en el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público, por lo que se respetarán de la misma manera que los principios de publicidad, libre concurrencia y objetividad que si el órgano responsable de la adjudicación fuese el Ministerio de Fomento.
- Las características de los entes públicos empresariales permiten captar fondos externos, que no provengan de los presupuestos generales del estado, que, tal y como se explica en el epígrafe correspondiente, no computarían como déficit público. En todo caso las condiciones de financiación de los entes públicos empresariales son siempre más ventajosas que las asociadas a un contrato concesional estándar con un *Project Finance*.
- La utilización de un ente público empresarial permite aprovechar el conocimiento técnico existente en la administración, ya sea ADIF el responsable de la construcción y gestión, u otro ente público empresarial de nueva creación que se nutra de profesionales provenientes de ADIF y/o de otras empresas públicas como RENFE e INECO o privadas.

La estructura contractual asociada al ente público empresarial responsable de la gestión de la infraestructura sería en su esencia una réplica de la estructura vigente actualmente en el negocio de ADIF, y que ha sido descrito con detalle en el epígrafe correspondiente al Modelo contractual del AVE.

10.4 Otras estructuras de contratación de interés

Una forma complementaria de obtención de ingresos en ambos modelos se puede realizar a través de diversos tipos de contratos de servicios que se podrían denominar “comerciales”. Entre ellos, se pueden citar contratos de tipo general, como los de publicidad en estaciones, trenes y vainas; y otros utilizados por ADIF y ADIF-Alta Velocidad que a continuación se describen.

10.4.1 Comercios

Como Proyectos de colaboración público – privada en operación, el ADIF y ADIF-Alta Velocidad utilizan dos marcas comerciales en estaciones: “Tiendas de la estación” y “Vialia”.

Figura 58. “Tiendas de la estación” y “Vialia”



Fuente: Master en Gestión de infraestructuras, equipamientos y servicios edición XIV

- **Tiendas de la estación.** Consiste en una agrupación de comercios encuadrados bajo una misma marca paraguas, con un formato basado en la calidad y en la gestión especializada, que además de cubrir las necesidades del viajero es susceptible de satisfacer las del entorno. Las estaciones con marca implantada “Tiendas de la Estación” tienen un alto tráfico de viajeros y son gestionadas comercialmente por ADIF y ADIF-Alta Velocidad. En ellas, además de un reglamento de régimen interno similar al de cualquier centro comercial, se desarrollan acciones de publicidad y promoción globales y locales. La relación con los arrendatarios se desarrolla de forma continua y directa.

En la actualidad, de las ocho estaciones gestionadas por ADIF-Alta Velocidad, se encuentran las Estaciones de Madrid “Puerta de Atocha” y Barcelona Sants.

- **Vialia.** Es un concepto de estación que vincula los servicios ferroviarios al comercio, ocio y cultura. La estación tiene una imagen innovadora, dinámica, moderna y creativa, configurando un todo homogéneo en beneficio del entorno y la ciudad, siendo sostenible económica y medioambientalmente. Ofrece a los viajeros y visitantes las mejores prestaciones en cuanto a la infraestructura y servicios de transporte y una oferta comercial muy variada de artículos y servicios, actividades comerciales y ocupaciones para el tiempo libre, con una gran calidad, todo ello, integrado en la ciudad y compatible con el comercio urbano.

En la actualidad, de las cinco estaciones gestionadas por ADIF-Alta Velocidad, ninguna se encuentra en el corredor analizado.

El esquema de funcionamiento que se podría realizar en alguna nueva estación, tanto para el AVE como para el Hyperloop, sería el siguiente:

Figura 59. Esquema de funcionamiento de “Vialia”



Fuente: Elaboración Propia

El objeto es la construcción y explotación de una estación tipo Vialia, con un período de explotación máximo de 50 años, con un desembolso inicial de capital social mínimo del 25% y unos recursos propios al menos del 30% del valor del activo.

Se debe constituir una sociedad mixta (sociedad anónima) en el que el reparto societario como máximo de ADIF o del gestor de la infraestructura sea menor del 50% (socio minoritario).

La aportación de capital de ADIF o del gestor de la infraestructura puede ser únicamente como socio capitalista sin aportación del terreno, o mediante la disposición de un terreno de su propiedad. En este caso, una vez construida la estación, la Sociedad Mixta entrega a ADIF o al gestor de la infraestructura la propiedad del Centro. La Sociedad Mixta explota la zona comercial de la estación por un periodo máximo de 50 años y ADIF o el gestor de la infraestructura recibe de la Sociedad una renta fija y una variable.

10.4.2 Aparcamientos

Como Proyecto de concesión, el ADIF y ADIF-Alta Velocidad realiza el arrendamiento y explotación de aparcamientos de las estaciones por períodos de 4 o 10 años.

Los productos y servicios ofertados en los aparcamientos abarca un amplio espectro de necesidades propias y del entorno ciudadano:

- Rotación: Uso general del aparcamiento por minutos, para todo tipo de clientes (83% de los ingresos).
- Abonados: Abonos mensuales para la utilización de una plaza de aparcamiento (14% de los ingresos).
- Franquicias: Utilización del aparcamiento por clientes del ferrocarril con franquicia en función del billete de transporte ferroviario adquirido.

Sus principales clientes son los usuarios del ferrocarril, así como la población del entorno, en el que el arrendatario explotará por su cuenta y riesgo los aparcamientos y podrá realizar otras actividades asociadas como lavado de coches y carga eléctrica, mientras que queda excluida la explotación publicitaria.

10.4.3 Fibra óptica

Como Proyecto de cesión de derechos de uso y gestión de la explotación de la red de cables de fibra óptica, Red Eléctrica Internacional, S.A.U. (REI) adquiere el control exclusivo de la red de cables de fibra óptica y demás elementos asociados propiedad de la entidad pública empresarial (ADIF-Alta Velocidad) que no están dedicados al servicio ferroviario, llevando asociada la cesión de los contratos vigentes de cesión de uso suscritos por ADIF-Alta Velocidad con los operadores de telecomunicaciones, a través de un acuerdo de cesión del uso y gestión de la explotación por un periodo de 20 años.

Este producto ofrece soluciones de infraestructura para la prestación del servicio de Telefonía Móvil de voz y del servicio de datos en las Líneas de Alta Velocidad.

En concreto, las infraestructuras y servicios proporcionados a los tres Operadores Móviles (Movistar, Orange y Vodafone) son los siguientes:

- Fibra Óptica: Dos fibras de Cable Dedicado (fibra oscura para dotar de capilaridad y acceso a las redes de transporte troncal o metropolitanas de los clientes) en cada lado de la vía por operador, con segregaciones para la interconexión de las estaciones base.
- Torres: Espacio en las torres para instalar las antenas correspondientes.
- Casetas: Espacio técnico para el alojamiento del equipamiento propio de cada Operador
- Suministros: Energía eléctrica y Aire Acondicionado necesario de acuerdo a los requerimientos de cada Operador.
- Mantenimiento: Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) para los correspondientes servicios de mantenimiento 24/7.

Las condiciones del contrato son las siguientes:

- ADIF-Alta Velocidad se reserva el 25% de la capacidad de los cables para el uso por el sistema Ferroviario.
- Adicionalmente, ADIF-Alta Velocidad garantiza el acceso, por parte del adjudicatario, a los derechos de paso sobre las infraestructuras ferroviarias, existentes o a construir en el futuro, en condiciones de mercado.
- ADIF-Alta Velocidad realiza el mantenimiento de los activos que se ceden.

- La cesión se realiza mediante un único pago adelantado a la firma del contrato.

11 Análisis de Riesgos

En el actual epígrafe se desarrolla un análisis de riesgos, tanto para el proyecto del AVE como para el proyecto del Hyperloop, lo que permite continuar realizando el análisis comparativo entre ambos medios de transporte.

La **metodología** aplicada en la identificación y análisis de riesgos se estructura en base a los siguientes puntos: inicialmente se identifican los *stakeholders*, tanto los directa como indirectamente afectados por los proyectos; seguidamente se realiza un trabajo de caracterización, identificación y valoración cualitativa de todos los riesgos que puedan aflorar a lo largo de las distintas fases de los proyectos (contratación, financiación, construcción y explotación); por último, se plantean las opciones de asignación de riesgos que optimicen las estrategias de mitigación de los mismos.

11.1 Introducción

El estudio de los riesgos y la identificación de los mismos es una parte fundamental a la hora de diseñar el proyecto de una infraestructura lineal de transporte. En su diseño, se tiene, entre otros, el objetivo de establecer el equilibrio financiero, y este equilibrio puede verse afectado por la ocurrencia de determinados hechos que pueden influirle, tanto a nivel de capital invertido, como en las tarifas y, por ello, de los resultados esperados en cuanto a ingresos.

El **concepto de riesgo** en proyectos de infraestructuras se puede definir como la probabilidad de ocurrencia de un hecho que afecte al desarrollo del mismo provocándole un determinado impacto, por lo que se entiende que es fundamental conocer cuáles son esos hechos posibles, identificarlos, valorarlos y determinar su probabilidad de ocurrencia.

Asimismo, es necesario establecer acciones mitigadoras para disminuir la posibilidad de que ocurran o, en caso de su ocurrencia, que el impacto sea el mínimo posible.

Por otro lado, se debe realizar un adecuado reparto de riesgos entre los distintos agentes partícipes puesto que lo hará más atractivo de cara a la participación en la licitación.

Una asignación adecuada de los riesgos es aquella que reduce el coste de su mitigación. Esto se logra transfiriendo cada riesgo al *stakeholder* que mejor lo conoce y controla. Es por ello fundamental realizar una adecuada y completa identificación de todos los *stakeholders* que intervendrán en el Proyecto.

Los riesgos de un proyecto se refieren a los diferentes factores que pueden hacer que no se cumplan los resultados previstos y los respectivos flujos esperados. Para determinar cuáles son los riesgos asociados a un proyecto se deben identificar las principales variables que determinan estos flujos.

Adicionalmente a la asignación teórica de los riesgos, un factor fundamental para la gestión de los mismos está relacionado con la calidad y confiabilidad de la información disponible. El esquema de asignación contractual de riesgos entre las partes tiene una relación directa con la información conocida, por lo que, con información de mejor calidad la percepción de riesgo es menor y se pueden adoptar las medidas necesarias para controlar la incidencia de las fuentes de riesgo.

Según las particularidades de cada riesgo, las partes están en disposición y capacidad de establecer los mecanismos de mitigación de su impacto y de cobertura, así como su asignación a los distintos agentes involucrados.

Las Administraciones con mayor experiencia en promover nuevas infraestructuras consideran, acertadamente, que no todos los *stakeholders* involucrados perciben de igual manera los riesgos de una infraestructura lineal de transporte.

Así, para las sociedades concesionarias existen riesgos propios que son inherentes a su gestión, pero también existen otros que le son transferidos y que, a día de hoy, se cuestiona si deberían serlo. Comúnmente, las sociedades concesionarias perciben una falta de definición regulatoria pues no encuentran un marco legislativo que defina con exactitud con qué magnitud un riesgo ha de ser transferido.

En el caso que nos ocupa, al partir de vías de provisión con el uso de una Entidad Pública Empresarial como el ADIF, quien marca si la transferencia de riesgos es la adecuada es Eurostat, indicando que solo si la materialización de ese riesgo supone un impacto financiero sustancial para la sociedad concesionaria que no solo ponga en riesgo su margen de beneficio sino también le suponga pérdidas significativas de *equity* (incluyendo la posibilidad de llegar al concurso de acreedores), los activos del proyecto estarán en el balance de la sociedad concesionaria. En caso contrario, el proyecto debería computarse directamente en el balance de la Administración.

Para el análisis de riesgos de los proyectos se desarrollan esquemas de identificación de riesgos generales inherentes a proyectos de construcción de infraestructuras lineales de transporte. A la hora de analizar los riesgos específicos del AVE se utilizan esquemas basados en otros proyectos conocidos de concesiones de infraestructuras lineales de transporte ferroviarias. Sin embargo, para el análisis de riesgos del Hyperloop se desarrolla un esquema en el que se parte de la hipótesis de que el sistema de transporte es la primera vez que se implantaría en España, aunque se hubiese realizado en otro país, siendo viable tanto técnica como económicamente, aunque sin que haya pasado el tiempo suficiente como para tener un histórico donde apoyarse.

Se incluyen las matrices de riesgos en las que se indican los principales riesgos detectados, incorporando una valoración cualitativa de su impacto en caso de que acaezcan, de la probabilidad de que surjan y de la relevancia que supondría en la gestión del contrato.

11.2 Identificación de los *stakeholders*

Los agentes involucrados en las dos infraestructuras lineales de transporte son:

- **Administración Pública:** al ser la infraestructura a financiar de titularidad pública, es la Administración General del Estado, a través del Ministerio de Fomento, quien será la titular de la infraestructura a desarrollar.
- Entes Públicos empresariales **gestores de la infraestructura y operadores del servicio** y Sociedad Vehículo Operadora del servicio. Son las entidades que se crean para ejecutar y explotar los proyectos de infraestructuras. Dichas sociedades serán titulares de los activos de los proyectos que no sean de titularidad pública, además del derecho a explotar los proyectos por el periodo fijado. La forma jurídica de una SVP suele ser la de sociedad anónima y su vida se suele limitar al plazo del proyecto.
- **Socios Promotores:** se trata de los accionistas de la Sociedad Vehículo Operadora del servicio, quienes suelen coincidir con aquellas entidades que se encuentran involucradas en el proyecto del Hyperloop, debido a su posición estratégica en el mismo. Éstas, entre otras, podrían ser:
 - Grupos Constructores.
 - Suministradores de la tecnología de las vainas.

- Ingenierías de diseño del transporte Hyperloop.
- Mantenedores de infraestructura y Subsistemas (comunicaciones, señalización, energía...).
- Entidades financieras.
- **Financiadores:** se trata de aquellas personas físicas o jurídicas que proporcionan recursos ajenos para la financiación de los proyectos.
- **Constructores:** éstos pueden o no coincidir con los gestores. Se pueden firmar diferentes contratos, entre otros:
 - Contratos de construcción a precio cerrado y a buena cuenta.
 - Contratos de redacción de proyecto, construcción y gestión para la explotación de la infraestructura.
 - Contratos de construcción y gestión para la explotación de la infraestructura.
 - Contratos de concesión de obra pública.
 - Contratos mixtos.
- **Asesores externos:** se suele recurrir a ellos para evaluar ciertas características de los proyectos: riesgos, estructura financiera y jurídica necesaria, viabilidad, rentabilidad y cualquier otro aspecto que permita definir la coherencia de los proyectos. En concreto, suelen ser necesarios:
 - Asesores jurídicos para los contratos entre los agentes intervinientes.
 - Asesores de ingeniería que valoran la viabilidad técnica del proyecto.
 - Asesores medioambientales que evalúan el impacto ambiental del proyecto.
 - Asesores financieros encargados de valorar los riesgos económicos y financieros del proyecto.

La participación de estos asesores implica que el coste de estudio de este tipo de proyectos se eleve, aunque de esta manera se intenta asegurar una buena calidad en las interrelaciones entre todos los agentes intervinientes.

- **Compañías aseguradoras:** éstas cobran especial relevancia debido a que cubren aquellos riesgos difíciles de controlar. Los riesgos los debe asumir quien mejor los sepa gestionar, y pretenderá hacer una gestión de éstos que le pueda reportar un beneficio.
- **Cliente final o usuario de la infraestructura:** puede aportar unas tarifas por la utilización del servicio objeto de la concesión.

11.3 Caracterización de los riesgos

Aun cuando un riesgo quede identificado, está sujeto a la ocurrencia de una condición, por lo que su impacto se puede predecir para determinados niveles de confianza, pero su ocurrencia queda sujeta a fenómenos aleatorios.

- La probabilidad de ocurrencia de un suceso o una combinación de sucesos que conduzcan a la materialización del riesgo, o la frecuencia de tal ocurrencia.
- La consecuencia de la materialización del riesgo o determinación del impacto.

Para efectuar la caracterización cualitativa de los riesgos se definen, en primer lugar, dos clasificaciones según la frecuencia o probabilidad y el impacto de un suceso o incidencia. Dicha definición incluye la descripción de las categorías correspondientes a cada una de las clasificaciones.

La siguiente tabla muestra las categorías típicas de la probabilidad o frecuencia con que se producirá una incidencia.

Tabla 66. Categorías de probabilidad de riesgos

Probabilidad del Riesgo	
Categoría	Descripción
ALTA	Se pueden presentar muy a menudo durante un tiempo determinado. La incidencia es muy común y ocurre continuamente.
MEDIA-ALTA	Se han presentado o se pueden presentar de manera común. Puede esperarse que la incidencia ocurra con frecuencia.
MEDIA	Se puede presentar con repetición frecuente durante un tiempo determinado. Es probable que se dé varias veces.
MEDIO-BAJA	Se puede presentar de forma ocasional durante un periodo de tiempo determinado en el ciclo de vida del sistema. Puede razonablemente esperarse que la incidencia ocurra.
BAJA	Se puede presentar alguna vez en el ciclo de vida del sistema. Es improbable, aunque posible que ocurra. Puede suponerse que la incidencia ocurrirá excepcionalmente.

Fuente: Elaboración propia

El análisis de consecuencias se debe utilizar para calcular el impacto probable, es decir, la medida del daño sobre el activo. A continuación, se presenta la tabla que describe los niveles de gravedad de los riesgos y sus consecuencias asociadas.

Tabla 67. Categorías de impacto de riesgos

Impacto del Riesgo	
Categoría	Consecuencias
ALTO	Riesgos extremadamente severos que pueden conllevar una pérdida costosa; pueden llevar a la pérdida de ingresos o afectar a la Interrupción total del proyecto por un determinado tiempo.
MEDIO-ALTO	Fuerte pérdida por eventos derivados de un riesgo severo que puede llegar a provocar interrupción temporal de alguna parte del proyecto.
MEDIO	Pérdida mediana derivada de riesgos que pueden llegar a provocar algún inconveniente en el proyecto.
MEDIO-BAJO	Pérdida menor derivada de los riesgos, pueden llegar a provocar algún inconveniente menor en el proyecto.

Impacto del Riesgo	
Categoría	Consecuencias
BAJO	Pérdida mínima provocada al proyecto.

Fuente: Elaboración propia

La evaluación y priorización de cada riesgo se realiza calculando su severidad. Habitualmente, la evaluación de la importancia de cada riesgo y, por consiguiente, de su prioridad de atención, se efectúa utilizando una matriz de probabilidad e impacto.

La matriz siguiente determina la severidad de los riesgos, asignando categorías, basándose en la combinación de los factores antes definidos, probabilidad e impacto. De esta forma, cada uno de los riesgos detectados se calificará como de severidad BAJA, MEDIA y ALTA.

Tabla 68. Categorías de severidad de riesgos

SEVERIDAD						
Probabilidad		<i>Bajo</i>	<i>Medio Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio Alto</i>	<i>Alto</i>
	<i>Alta</i>	MEDIA	MEDIA	ALTA	ALTA	ALTA
	<i>Media Alta</i>	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	ALTA
	<i>Media</i>	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	ALTA
	<i>Media Baja</i>	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	MEDIA
	<i>Baja</i>	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA
		<i>Bajo</i>	<i>Medio Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio Alto</i>	<i>Alto</i>
	<i>Impacto sobre el Proyecto</i>					

Fuente: Elaboración propia

11.4 Matriz de riesgos y transferencia de riesgos. Estrategias de mitigación para el AVE e Hyperloop

Siguiendo la metodología anteriormente descrita, se incluye la matriz de riesgos para los proyectos de AVE e Hyperloop, realizando la categorización, identificación y asignación de aquellos riesgos que pueden aflorar a lo largo de las distintas fases de los proyectos, tipificando su severidad para la consecución de cada uno de los proyectos.

Se incluyen, así mismo, para cada uno de los sistemas de transporte, distintas estrategias de mitigación.

Tabla 69. Matriz de Riesgos

RIESGOS NO COMERCIALES	PROB	IMP	SEVERIDAD	ESTRATEGIA	ASUNCIÓN RIESGO	AVE	HL
Regulatorio por cambios criterios UE cómputo déficit AAPP	MEDIA	ALTO	ALTA	Redacción Pliegos y contratos entre AAPP, Entes Públicos Empresariales y empresas concesionarias con cumplimiento de leyes españolas y comunitarias. Regla de oro para Entes Públicos Empresariales y transmisión de riesgos en cantidad suficiente para concesionarias.	MINISTERIO FOMENTO	X	X
Ius variandi y factum principis (razones políticas)	BAJA	ALTO	BAJA	La aplicación está totalmente reglada y recogida en nuestra legislación.	MINISTERIO FOMENTO	X	X
Cambios ciclos económicos, políticos y sociales	MEDIA	MEDIO ALTO	MEDIA	Elaboración de estudios de viabilidad con estudios de demanda adaptados a la variabilidad del ciclo económico y análisis de coste-beneficio incluyendo todas las externalidades de cada sistema de transporte.	MINISTERIO FOMENTO	X	X
Fuerza Mayor	BAJA	ALTO	BAJA	La aplicación está totalmente reglada y recogida en nuestra legislación.	MINISTERIO FOMENTO	X	X

RIESGOS COMERCIALES FASE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	PROB	IMP	SEVERIDAD	ESTRATEGIA	ASUNCIÓN RIESGO	AVE	HL
Diseño Proyectos	MEDIA	MEDIO	MEDIA	Realización de Anteproyectos, Estudios Informativos y Proyectos de Construcción exhaustivos por parte de empresas de reconocida solvencia técnica con empresas especializadas en supervisión, coordinados con las directrices del ADIF. Modificados técnicos por empresa constructora (sin incluir cambios de trazado y/o medioambientales) comprobados por ADIF.	ADIF	X	
	MEDIA	ALTO	ALTA	Contratos del Gestor de infraestructuras en modalidad "llave en mano" con empresas de ingeniería y construcción especializadas. Suscripción pólizas Todo Riesgo Construcción.	EMPRESAS CONSTRUCTORAS		X

RIESGOS COMERCIALES FASE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	PROB	IMP	SEVERIDAD	ESTRATEGIA	ASUNCIÓN RIESGO	AVE	HL
Expropiaciones, ocupaciones temporales, servicios afectados y servidumbres	MEDIA	MEDIO ALTO	MEDIA	El gestor de la infraestructura es la entidad beneficiaria de las expropiaciones, mientras que la potestad expropiatoria recae en el Ministerio de Fomento. El gestor de la infraestructura realiza el conjunto de actuaciones técnicas, administrativas y económicas que tienen como finalidad facilitar en tiempo y forma los recursos espaciales necesarios para que se puedan acometer las obras.	MINISTERIO FOMENTO	X	X
Tecnología	BAJA	MEDIO ALTO	BAJA	La construcción está basada en tecnología conocida e implantada en el mundo y en España (AVE Madrid – Sevilla).	MINISTERIO FOMENTO	X	
	MEDIA	ALTO	ALTA	Se considera que la tecnología está implantada en el mundo pero no en España. Al realizarse la licitación mediante la modalidad de diálogo competitivo se analizan todas las alternativas tecnológicas disponibles. El adjudicatario de la operación adaptará el proyecto a las necesidades tecnológicas de su propuesta.	OPERADOR		X
Retraso finalización obras	MEDIA	MEDIO ALTO	MEDIA	Cláusulas de penalización y/o extinción. Si no fuera imputable a adjudicatarios (Fuerza Mayor o modificaciones Admon.), aplicar legislación española. Suscripción pólizas Todo Riesgo Construcción, TRDM y OCT. Exigencia de Garantía de Ejecución.	EMPRESAS CONSTRUCTORAS	X	
	MEDIA	ALTO	ALTA				X
Sobrecostes de las inversiones	MEDIA	MEDIO	MEDIA	Cláusulas de penalización y/o extinción. Si no fuera imputable a adjudicatarios (Fuerza Mayor o modificaciones Admon), aplicar legislación española. Suscripción pólizas Todo Riesgo Construcción, TRDM y OCT. Exigencia de Garantía de Ejecución.	EMPRESAS CONSTRUCTORAS	X	X

RIESGOS COMERCIALES FASE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	PROB	IMP	SEVERIDAD	ESTRATEGIA	ASUNCIÓN RIESGO	AVE	HL
Geología y geotecnia y restos arqueológicos	MEDIA	MEDIO ALTO	MEDIA	Realización de campañas geotécnicas y arqueológicas por parte de empresas de reconocida solvencia técnica, coordinados con las directrices del ADIF. Modificados técnicos por empresa constructora (sin incluir cambios de trazado y/o medioambientales) comprobados por ADIF.	ADIF	X	
	MEDIO BAJA	MEDIO ALTO	BAJA	Aunque las afecciones al terreno son menores se deben realizar contratos de construcción en modalidad "llave en mano". Suscripción pólizas Todo Riesgo Construcción.	EMPRESAS CONSTRUCTORAS		X
Corrección afecciones medioambiente negativas	MEDIA BAJA	MEDIO ALTO	BAJA	El proceso de Declaración de Impacto Ambiental está totalmente reglado y recogido en nuestra legislación. Se debe cumplir la DIA y realizar un seguimiento a las acciones correctoras.	ADIF	X	
					EMPRESAS CONSTRUCTORAS		X
Financiación	BAJA	MEDIO	BAJA	La estructura de provisión asegura la financiación de la obra.	GESTOR DE LA INFRAESTRUCTURA	X	X
	MEDIO ALTA	ALTO	ALTA	Acordar condiciones de financiación en el diálogo competitivo, incluyendo una cláusula de aseguramiento de financiación y de renegociación del operador antes de la firma del contrato. Aporte de deuda subordinada del BEI a través del Plan Juncker	OPERADOR		X
Ius variandi (límites) Factum principis (límites) Fuerza Mayor (límites)	BAJA	ALTO	BAJA	La aplicación está totalmente reglada y recogida en nuestra legislación. Suscripción pólizas Todo Riesgo Construcción y TRDM para Fuerza Mayor.	MINISTERIO FOMENTO OPERADOR y CONSTRUCTORAS	X	X

RIESGOS COMERCIALES FASE EXPLOTACIÓN	PROB	IMP	SEVERIDAD	ESTRATEGIA	ASUNCIÓN RIESGO	AVE	HL
Demanda	MEDIA	MEDIO ALTO	MEDIA	Realización de estudios de demanda por empresas especializadas con planteamiento de varios escenarios y estudios previos de sensibilidad. Comparación de estudios de corredores similares de TAV.	RENFE y ADIF	X	
	MEDIO ALTA	ALTO	ALTA	Realización de estudios de demanda por empresas especializadas con planteamiento de varios escenarios y estudios previos de sensibilidad. En este caso se considera que todavía no existe un histórico suficiente. Se deben realizar campañas de publicidad para minimizar el posible rechazo inicial (similar al producido por los aviones) y hacer que los viajes sean atractivos a los usuarios para minimizar el efecto <i>ramp up</i> .	OPERADOR y GESTOR DE INFRAESTRUCTURAS		X
Disponibilidad	MEDIA ALTA	MEDIO BAJO	MEDIA	Aplicación de indicadores de calidad, disponibilidad y fiabilidad.	OPERADORES Y GESTORES DE LA INFRAESTRUCTURA	X	X
	MEDIO ALTA	ALTO	ALTA	Aplicación de indicadores de calidad, disponibilidad y fiabilidad más exigentes debido a la frecuencia tan reducida.			

RIESGOS COMERCIALES FASE EXPLOTACIÓN	PROB	IMP	SEVERIDAD	ESTRATEGIA	ASUNCIÓN RIESGO	AVE	HL
Sobrecostes de explotación	MEDIA	MEDIO BAJO	MEDIA	Elección de operadores de contrastada experiencia con definición precisa en el contrato de las cláusulas de explotación. Las operadoras realizarán planes detallados de la operación y estudios de mercado. Operador adjudicatario del diálogo competitivo con contrastada experiencia en explotación.	EMPRESAS OPERADORAS	X	X
	MEDIO ALTA	MEDIO	MEDIA	Garantizar la calidad técnica del gestor en el mantenimiento de la infraestructura.	GESTORES DE INFRAESTRUCTURA	X	X
Macroeconómicos (tipos de interés e inflación)	MEDIA	MEDIO ALTO	MEDIA	Utilización de instrumentos de cobertura, seguros y garantías	OPERADORES Y GESTORES DE LA INFRAESTRUCTURA	X	X
Progreso	MEDIO BAJA	ALTO	MEDIA	Se debe incluir cláusula de progreso en la que se indiquen las funcionalidades originales adaptadas al estado y progreso de la técnica en cada momento.	OPERADORES Y GESTORES DE LA INFRAESTRUCTURA	X	X
Ius variandi (límites) Factum principis (límites) Fuerza Mayor (límites) Extinción anticipada	BAJA	ALTO	BAJA	La aplicación está totalmente reglada y recogida en nuestra legislación.	MINISTERIO FOMENTO	X	X

Fuente: Elaboración propia

BLOQUE D

12 Estudio de Viabilidad Económica

En base a la información detallada en los epígrafes anteriores, se describe a continuación los datos que alimentan el modelo económico financiero con el que se analiza la viabilidad económica de ambas alternativas: la implantación del AVE o del Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona. El análisis plantea las inversiones necesarias, los costes de operación y los ingresos, y generará una estimación de la evolución de los flujos monetarios generados por el proyecto de cada una de las alternativas, a partir de los cuales se realizará una comparación de las dos alternativas en cuanto a su viabilidad económica.

El punto de partida para la evaluación económica de ambas alternativas de inversión, cuyos beneficios y costes se distribuyen a lo largo de un plazo temporal de varios años, consiste en determinar cuál es el valor actualizado, en el momento en el que debe tomarse la decisión, de la suma de dichos beneficios menos los costes. Esto es lo que se denominaremos valor actual neto (VAN) del proyecto y que usaremos, en el ámbito del estudio de viabilidad económica, como principal variable de comparación de las dos alternativas.

Ambas alternativas reúnen las características estándar de los proyectos de inversión en infraestructuras de transporte: alto coste de la inversión inicial, indivisibilidad, irreversibilidad de la inversión, riesgo de demanda; y por tanto, incertidumbre asociada al resultado esperado del proyecto; y finalmente, posibilidad de posponer la inversión. Las características mencionadas resaltan la importancia de la evaluación económica ex ante de estos proyectos de inversión. Si la inversión es irrecuperable una vez concluida la construcción de la infraestructura, y si existe incertidumbre sobre los beneficios de dicha inversión durante la vida económica del proyecto, la identificación y cuantificación de los flujos de beneficios y costes del proyecto puede aportar información muy útil al órgano público responsable, en este caso el Ministerio de Fomento, sobre la conveniencia de realizar la inversión.

La metodología que sirve como base de un estudio de viabilidad económica se sustenta en la elaboración previa de la modelización del comportamiento económico financiero del proyecto objeto de análisis. En este contexto, a continuación se describen las fases más importantes que afectan a los proyectos de inversión en infraestructuras de transporte a lo largo de su ciclo de vida.

Una vez se ha definido la estructura jurídica y contractual que servirá como base para la ejecución del proyecto, estableciendo las vinculaciones entre los distintos agentes y el sector público y privado, dará comienzo la FASE DE INVERSIÓN INTENSIVA en la que se acometen las inversiones, dedicadas a la construcción de la infraestructura y la adquisición de los bienes y equipos necesarios para la explotación de la misma.

Una vez finalicen los trabajos de construcción y grandes adquisiciones, da inicio la FASE DE EXPLOTACIÓN COMERCIAL en la que el activo comienza su vida útil y el proyecto empieza a generar ingresos con los que enfrentar unos gastos de explotación que estarán vinculados al nivel de actividad generado. En esta fase lo más usual es que el proyecto esté generando rendimientos económicos que superan los costes de operación y mantenimiento, si bien es posible que durante los primeros años de explotación los costes de explotación sean mayores que los ingresos, en la medida en que la

demanda suele requerir de meses o incluso años para estabilizarse (fase de *ramp-up*, por su nombre en inglés). En cualquier caso, en la FASE DE EXPLOTACIÓN COMERCIAL, se suele contar con información razonable sobre el comportamiento del proyecto que puede servir para predecir con mayor fiabilidad su viabilidad futura. Asimismo, en esta fase también se deben acometer inversiones, como pueden ser:

- Inversiones dedicadas a la ampliación o actualización de la infraestructura y sus equipos
- Inversiones de reposición

Por tanto, en la FASE DE EXPLOTACIÓN COMERCIAL, pueden existir inversiones, si bien éstas serán generalmente de menor volumen que las ejecutadas en la FASE DE INVERSIÓN INTENSIVA, lo cual, unido a que en esta fase se cuenta con información mucho más fiable sobre el comportamiento económico del proyecto, hace posible que las inversiones necesarias durante la explotación puedan ser financiadas de manera distinta y a menor coste que las inversiones durante la construcción. Fundamentalmente estas inversiones se financian a través de deuda bancaria o mediante la caja generada por el propio proyecto, si bien la primera opción suele ser la más eficiente, debido a que la regla general es que a los recursos propios se les exige mayor rendimiento económico que a la financiación ajena.

En el caso en que las inversiones necesarias hayan sido sufragadas a través de financiación bancaria, durante la FASE DE EXPLOTACIÓN COMERCIAL se deberá atender el servicio de la deuda (pago de principal e intereses) que, como se ha detallado, en gran medida se incurrieron en la FASE DE INVERSIÓN INTENSIVA. De manera general, el plazo de amortización de la deuda debe ser inferior al plazo de explotación comercial, de modo que se garantice que el perímetro del análisis incluye todos los pagos asociados a las inversiones incurridas; y de manera consecuente con la política asumida por los financiadores privados, que en el caso de las colaboraciones público privadas, ajustan el plazo de devolución de los préstamos que conceden de modo que finalice varios años antes de que concluya el plazo de concesión para la explotación de la infraestructura, garantizando que se genera lo que se conoce como COLA DE LA DEUDA, que se utiliza como una herramienta para minorar el riesgo de impago facilitando eventuales refinanciaciones.

En el marco del presente análisis comparativo, se realiza un estudio de la viabilidad económica del proyecto sin considerar la estructura de financiación del mismo. Los condicionantes para la financiación de la implantación en el corredor Madrid-Barcelona del AVE o del Hyperloop son muy diferentes y se considera que es preciso analizar previamente, y con suficiente grado de detalle, el comportamiento económico de cada uno de los dos proyectos sin distorsionar los resultados del mismo por las distintas opciones de financiación que pudiesen llegar a implantarse en cada una de las alternativas. De manera preliminar, se puede adelantar que la estructura de financiación actualmente vigente en el AVE resulta extremadamente eficiente, ya que el respaldo más o menos explícito del estado español a ADIF y a RENFE hace que estas empresas tengan acceso a deuda en unas condiciones de intereses y plazos de devolución especialmente atractivas. Por otro lado, la alternativa propuesta para el Hyperloop, en la que se da entrada al capital privado para la explotación del servicio de transporte, acarrearía unos costes de financiación sensiblemente superiores, acorde al mayor riesgo asumido por los financiadores en las estructuras de *Project Finance*.

De manera análoga, la evaluación de la viabilidad económica de ambas alternativas tiene como finalidad estimar el beneficio neto esperado de los proyectos de inversión, pero el que se materialice o no dicho beneficio ex ante a lo largo de la vida del proyecto dependerá en gran medida de los contratos y del sistema de incentivos que se utilice para la fase de construcción y, posteriormente, para la explotación de la infraestructura correspondiente. Un sistema de incentivos inadecuado puede

eleva los costes de mantenimiento, o que la empresa encargada de la explotación de la infraestructura no la conserve en las condiciones pactadas, elevando, por ejemplo, los costes operativos de los vehículos y el número de accidentes, de manera que el VAN calculado en la evaluación se reduzca.

El modelo de simulación del comportamiento económico que se ha desarrollado como el soporte del estudio de viabilidad es una herramienta construida sobre la base de la Dinámica de Sistemas. La Dinámica de Sistemas es uno de los métodos científicos de modelado dinámico más adecuados y acertados para sistemas complejos, no lineales. Un modelo de Dinámica de Sistemas representa las estructuras de realimentación claves del sistema, a la vez que la simulación del modelo muestra el efecto de las intervenciones humanas en la estructura del sistema. Su metodología, junto con el uso de un computador, ha demostrado su eficacia en la práctica como un medio adecuado para manejar problemas de sistemas complejos de comportamiento dinámico.

La Dinámica de Sistemas es una metodología para el estudio y manejo de sistemas de realimentación complejos. Una de las características de esta disciplina es el uso del computador para realizar sus simulaciones, lo que ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento y las consecuencias de las múltiples interacciones de los elementos de un sistema a través del tiempo, sin interferir en el propio sistema analizado. La aplicación de la Dinámica de Sistemas en este análisis resulta acertada, ya que se trata de un problema en el que no es posible encontrar ni soluciones óptimas ni soluciones generales; solamente se pueden obtener tendencias o propensiones.

En base a la teoría de la Dinámica de Sistemas, se ha generado un modelo económico, formulado en la herramienta informática Microsoft Excel, que se estructura de la siguiente manera:

- Pestaña de INPUTS HL. Es la hoja en la que se introducirán los datos relativos a las inversiones y a la explotación asociadas a la puesta en servicio de un sistema de Hyperloop en el corredor Madrid- Barcelona.
- Pestaña de INPUTS AVE. Es la hoja en la que se introducirán los datos relativos a las inversiones y a la explotación asociadas a la puesta en servicio de un sistema de AVE en el corredor Madrid-Barcelona. Únicamente es posible introducir datos sobre el modelo de negocio en estas dos pestañas de INPUTS. El resto de pestañas contienen información que se formulará a partir de los datos introducidos en estas dos pestañas y que serán todos los necesarios para parametrizar el proyecto de inversión objeto de estudio. El modelo permite vincular ciertos valores de modo que se mantengan invariantes en el caso en que se implante uno u otro modo de transporte.
- Pestaña de HL INGRESOS-GASTOS. Es la hoja en la que se transformarán las variables físicas y monetarias introducidas en la hoja de INPUTS HL en magnitudes contables correspondientes a los flujos monetarios generados por el sistema de Hyperloop implantado en el corredor Madrid-Barcelona.
- Pestaña de AVE INGRESOS-GASTOS. Es la hoja en la que se transformarán las variables físicas y monetarias introducidas en la hoja de INPUTS AVE en magnitudes contables correspondientes a los flujos monetarios generados por el sistema de AVE implantado en el corredor Madrid-Barcelona. Las dos pestañas de INGRESOS-GASTOS son hojas con cálculos intermedios que permiten calcular los importes anuales correspondientes a las inversiones, ingresos, costes, etc. en función de los datos introducidos previamente, de manera que se obtiene la rentabilidad del proyecto para cada una de las alternativas analizadas.
- Pestaña de OUTPUTS GRÁFICOS. Es la hoja en la que se representa de manera gráfica el comportamiento económico de cada una de las alternativas analizadas, facilitando su comparación.

- Pestaña de SENSIBILIDADES. Es la hoja en la que se generan curvas de sensibilidad que reflejan cómo evoluciona determinada magnitud del sistema (como puede ser la VAN del proyecto) ante variaciones de cualquier otra variable (como puede ser el nivel de inversión, el precio de los billetes, la demanda, el precio de la energía y el plazo de análisis).

12.1 Información de partida

Las pestañas INPUTS HL e INPUTS AVE están estructuradas de manera idéntica, reflejando la información de partida que se utilizará como base para el análisis de la viabilidad económica de cada uno de los proyectos. A continuación se describen los datos que se reflejan en las pestañas de INPUTS, y cuyos valores ya han sido reflejados en epígrafes anteriores de este estudio:

- Horizonte Temporal
 - Año valor actual
 - Año inicio fase inversión intensiva
 - Año inicio fase explotación comercial
 - Año finalización del análisis
 - Plazo de análisis
- Variables Macroeconómicas
 - Índice de actualización de precios (Crecimiento anual y Factor de actualización)
 - Crecimiento del PIB (Crecimiento anual y Factor de actualización)
- Variables Físicas
 - Demanda de viajeros
 - Demanda en los servicios MAD-ZGZ (inducida y previa en el corredor)
 - Demanda en los servicios MAD-BCN (inducida y previa en el corredor)
 - Demanda en los servicios ZGZ-BCN (inducida y previa en el corredor)
 - Demanda por tramo en hora punta
 - Demanda pico en el tramo Madrid - Zaragoza
 - Demanda pico en el tramo Zaragoza - Barcelona
 - Distancias
 - Longitud tramo MAD-ZGZ
 - Longitud tramo MAD-BCN
 - Longitud tramo ZGZ-BCN
 - Tiempos de viaje
 - Duración viaje MAD-ZGZ
 - Duración viaje MAD-BCN
 - Duración viaje ZGZ-BCN
 - Capacidad
 - Numero de bitubos

- Número de viajeros por unidad de material móvil
- Aprovechamiento medio de las unidades de material móvil (viajeros·km/plazas·km)
- Tiempo mínimo entre unidades de material móvil
- Número de servicios o expediciones i+v
 - Número de servicios MAD-ZGZ
 - Número de servicios MAD-BCN
 - Número de servicios ZGZ-BCN
- Unidades de material móvil en servicio
 - Unidades de material móvil necesarias para servicio en hora punta
 - Unidades de material móvil necesarias para espera las estaciones en hora punta
 - Unidades de material móvil en parada de mantenimiento
 - Número de unidades de material móvil
 - Nuevas unidades de material móvil a adquirir
 - Producción unidades de material móvil ·kilómetro anuales
- Energía consumida por cada servicio i+v
 - kwh consumidos en servicios MAD-ZGZ
 - kwh consumidos en servicios MAD-BCN
 - kwh consumidos en servicios ZGZ-BCN
- Precios unitarios vinculados a ingreso operativo
 - Vinculados a demanda por servicios
 - Precio unitario trayecto en servicios MAD-ZGZ
 - Precio unitario trayecto en servicios MAD-BCN
 - Precio unitario trayecto en servicios ZGZ-BCN
 - Por publicidad
 - En la estación de Madrid
 - En la estación de Zaragoza
 - En la estación de Barcelona
 - Precio unitario publicidad trayecto en servicios MAD-ZAG
 - Precio unitario publicidad trayecto en servicios MAD-BCN
 - Precio unitario publicidad trayecto en servicios ZAG-BCN
 - Por canon de explotación de zonas comerciales y aparcamientos por empresas concesionarias
 - En la estación de Madrid
 - En la estación de Zaragoza

- En la estación de Barcelona
- Por canon de las líneas de fibra óptica
 - En el tramo en servicios MAD-ZGZ
 - En el tramo en servicios ZGZ-BCN
- Precios unitarios vinculados a gasto operativo
 - Vinculados a mantenimiento de estaciones
 - Mantenimiento estación de Madrid
 - Mantenimiento estación de Zaragoza
 - Mantenimiento estación de Barcelona
 - Vinculados a mantenimiento de infra y superestructura
 - Precio unitario mantenimiento de infra y superestructura
 - Vinculados a mantenimiento del material móvil
 - Precio unitario mantenimiento del material auxiliar
 - Precio unitario mantenimiento de las unidades de material móvil
 - Vinculados al consumo eléctrico
 - Precio del kw/hora
 - RR.HH.
 - Personal en el material móvil
 - Personal en las estaciones
 - Personal de estructura (crec. con producc y coste inicial)
 - Seguros y servicios exteriores
 - Seguros de material móvil
 - Servicios a la venta (comisiones, seguros, etc.)
 - Servicios en los talleres (crec. con inv. talleres y coste inicial)
 - Servicios en oficinas y estaciones (limpieza, energía, etc.)
- Inversiones
 - Construcción infraestructura
 - Remodelación de estaciones
 - Material móvil (plazo de reposición y coste unitario)
 - Material auxiliar (plazo de reposición y coste total)
 - Talleres y bases de mantenimiento (crecimiento con la producción y coste inicial)

Los valores de partida, y su evolución en el tiempo, para cada uno de estos conceptos se detallan en el apartado de anexos.

12.2 Análisis de la viabilidad económica del AVE

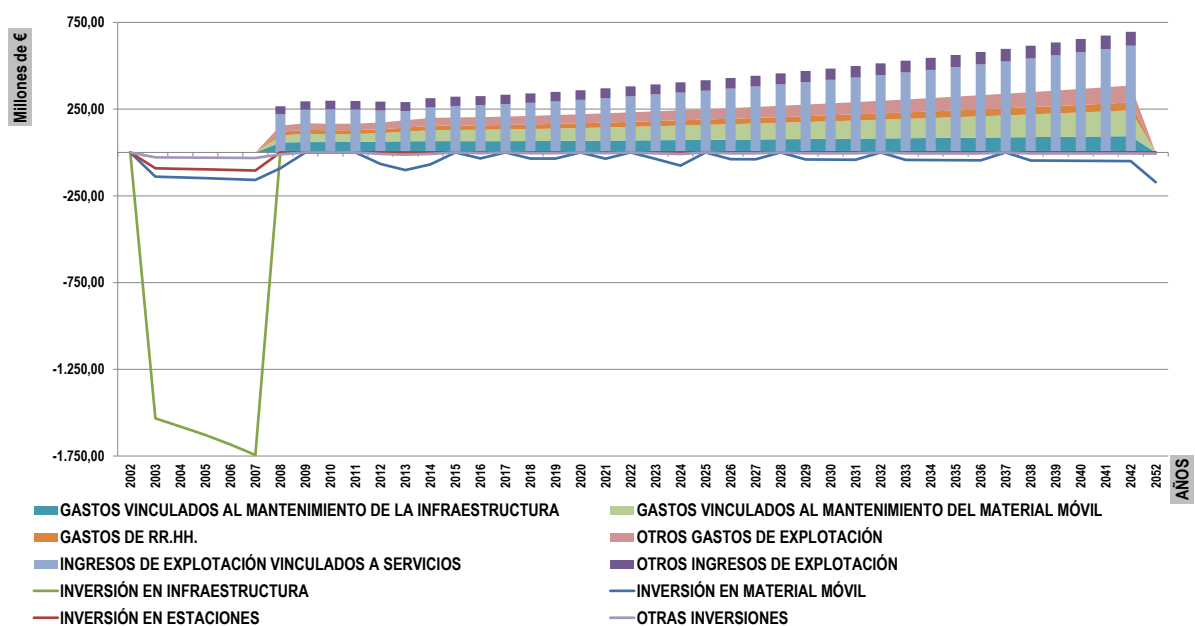
Tal y como se ha expresado anteriormente, a partir de los datos de entrada registrados en la tabla de INPUTS AVE, y en base a la formulación reflejada en el modelo económico, se calculan los distintos conceptos que conforman los flujos monetarios anuales del sistema durante las fases de construcción y de explotación. Estos flujos se clasifican de la siguiente manera:

- FLUJO ANUAL DE INGRESOS DE EXPLOTACION
 - Vinculados a demanda por servicios
 - INGRESOS POR SERVICIOS MAD-ZGZ
 - INGRESOS POR SERVICIOS MAD-BCN
 - INGRESOS POR SERVICIOS ZGZ-BCN
 - Por publicidad
 - EN LA ESTACION DE MADRID
 - EN LA ESTACION DE ZARAGOZA
 - EN LA ESTACION DE BARCELONA
 - INGRESOS POR SERVICIOS MAD-ZAG
 - INGRESOS POR SERVICIOS MAD-BCN
 - INGRESOS POR SERVICIOS ZAG-BCN
 - Por canon de explotación de zonas comerciales por empresas concesionarias
 - EN LA ESTACION DE MADRID
 - EN LA ESTACION DE ZARAGOZA
 - EN LA ESTACION DE BARCELONA
 - Por canon de las líneas de fibra óptica
 - EN EL TRAMO EN SERVICIOS MAD-ZGZ
 - EN EL TRAMO EN SERVICIOS ZGZ-BCN
 - FLUJO ANUAL DE GASTOS DE EXPLOTACION
 - FLUJO ANUAL DE GASTOS DE EXPLOTACION
 - Vinculados a mantenimiento de estaciones
 - MANTENIMIENTO ESTACION DE MADRID
 - MANTENIMIENTO ESTACION DE ZARAGOZA
 - MANTENIMIENTO ESTACION DE BARCELONA
 - Vinculados a mantenimiento de infra y superestructura
 - MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA
 - Vinculados a mantenimiento del material móvil
 - MANTENIMIENTO DEL MATERIAL AUXILIAR
 - MANTENIMIENTO DEL MATERIAL MÓVIL DE TRANSPORTE
 - Vinculados al consumo eléctrico

- CONSUMO ELÉCTRICO EN SERVICIOS MAD-ZAG
- CONSUMO ELÉCTRICO EN SERVICIOS MAD-BCN
- CONSUMO ELÉCTRICO EN SERVICIOS ZAG-BCN
- RR.HH.
 - PERSONAL EN LOS TRENES
 - PERSONAL EN LAS ESTACIONES
 - PERSONAL DE ESTRUCTURA
- Seguros y servicios exteriores
 - SEGUROS DE MATERIAL MÓVIL
 - SERVICIOS A LA VENTA (comisiones, seguros, catering etc.)
 - SERVICIOS EN LOS TALLERES
 - SERVICIOS EN OFICINAS Y ESTACIONES (limpieza, energía, etc.)
- FLUJO ANUAL DE INVERSIONES
 - Construcción infraestructura
 - Remodelación de estaciones
 - Material móvil
 - Material auxiliar
 - Talleres y bases de mantenimiento

La evolución en el tiempo de cada uno de estos conceptos se detalla en el apartado de anexos. En la siguiente gráfica se muestra la distribución, a lo largo del tiempo, de cada uno de los conceptos relacionados:

Figura 60. Comportamiento económico del proyecto del AVE en el corredor MAD-BCN



Fuente: Elaboración propia

Al analizar esta gráfica destaca en primer lugar el importante peso de las inversiones en infraestructura en comparación con el resto de los ingresos y gastos del proyecto. Debido a esta descompensación entre los gastos vinculados a las inversiones en la fase de construcción de la infraestructura, y los ingresos que el proyecto es capaz de generar, el proyecto no es autofinanciable. En la siguiente tabla se refleja el VAN y la TIR del proyecto contemplando un plazo de análisis de 40 años y una tasa de descuento del 5%:

Tabla 70. Indicadores de rentabilidad del proyecto del AVE

VAN de proyecto	-6.713.116.268 €
TIR de proyecto	-2,51%

Fuente: Elaboración propia

El plazo de análisis del proyecto se ha fijado en 40 años debido a varios motivos:

- Este es el plazo de vida útil del material móvil.
- Este plazo sería consecuente, en el caso en que se optase por un modelo de Colaboración Público Privada, con el máximo plazo de amortización de una financiación *Project Finance* (30-35 años) más una cola de proyecto de 5-10 años.

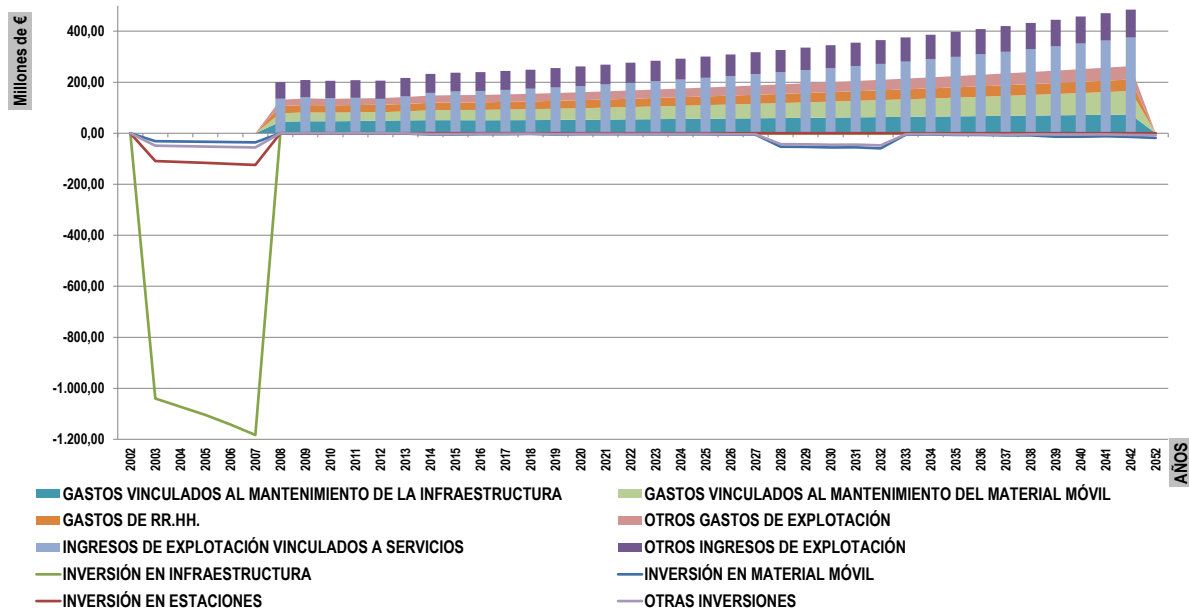
En primer lugar, cabe destacar que el proyecto de implantación del AVE en el corredor Madrid Barcelona no resultaría autofinanciable, con los datos de partida descritos en los epígrafes anteriores, en ningún caso. Tal y como muestra el valor negativo de la TIR de proyecto, el proyecto únicamente resultaría rentable económicamente si se aplicasen tasas de descuento negativas inferiores al -2,51%, lo que equivaldría a darle mayor peso en el cálculo del valor actualizado neto a los flujos monetarios futuros que a los flujos presentes; este supuesto no tiene sentido económico en un sistema con tasas de inflación y tipos de interés positivos.

El VAN de proyecto negativo indica que el proyecto consumiría en ese plazo, descontando los flujos futuros a una tasa de descuento del 5%, el equivalente a 6.713 millones de euros que no podrían ser cubiertos por los ingresos generados por el sistema.

12.3 Análisis de la viabilidad económica del Hyperloop

El análisis de la viabilidad económica del Hyperloop se realiza de manera análoga que para el AVE, basándose en los datos referidos en la tabla de INPUTS HL, y a través de los distintos conceptos que conforman los flujos monetarios anuales del sistema durante las fases de construcción y de explotación que son exactamente los mismos conceptos que los relacionados en el epígrafe anterior sobre el *Análisis de la viabilidad económica del AVE*. La evolución en el tiempo de cada uno de estos conceptos se detalla en el apartado de anexos. En la siguiente gráfica se muestra la distribución a lo largo del tiempo de estos conceptos:

Figura 61. Comportamiento económico del proyecto del Hyperloop en el corredor MAD-BCN



Fuente: Elaboración propia

Al analizar esta gráfica destaca que ha disminuido significativamente el peso de las inversiones en infraestructura en comparación con el resto de los ingresos y gastos del proyecto, en comparación con la misma gráfica para la alternativa del AVE. Al igual que en la alternativa del AVE, esta descompensación entre los gastos vinculados a las inversiones en la fase de construcción de la infraestructura y los ingresos que el proyecto es capaz de generar, provoca que el proyecto no sea autofinanciable. En la siguiente tabla se refleja el VAN y la TIR del proyecto contemplando un plazo de análisis de 40 años y una tasa de descuento del 5%:

Tabla 71 – Indicadores de rentabilidad del proyecto del Hyperloop

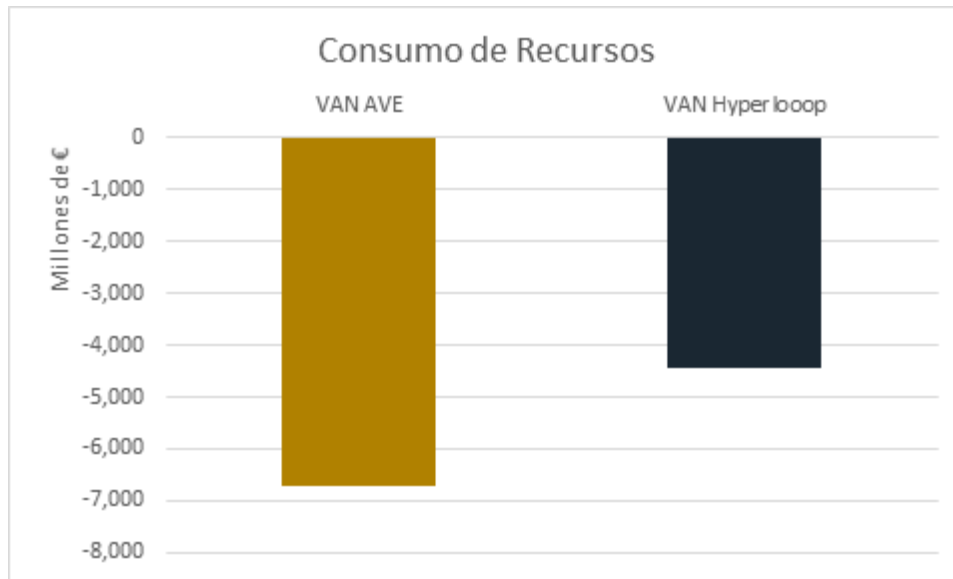
VAN de proyecto	-4.457.736.111 €
TIR de proyecto	-2,25%

Fuente: Elaboración propia

Al igual que en la alternativa de la implantación del AVE en el corredor Madrid Barcelona, la implantación del Hyperloop no resultaría autofinanciable con los datos de partida descritos en los epígrafes anteriores, si bien cabe destacar que en el Hyperloop consumiría menos recursos que el AVE. Tal y como muestra el valor negativo de la TIR de proyecto, el proyecto únicamente resultaría rentable económicamente si se aplicasen tasas de descuento negativas inferiores al -2,25%.

El VAN de proyecto negativo indica que el proyecto consumiría en ese plazo, descontando los flujos futuros a una tasa de descuento del 5%, el equivalente a 4.458 millones de euros que no podrían ser cubiertos por los ingresos generados por el sistema. Es decir, en el caso base comentado, el Hyperloop consumiría menos recursos, medidos a través del VAN, por un valor diferencial de 2.255 millones de euros, tal y como se refleja en la siguiente gráfica.

Tabla 72 – Consumo de recursos del AVE y del Hyperloop en el caso base



Fuente: Elaboración propia

12.4 Análisis de sensibilidad

La modelización del comportamiento económico del sistema se ha realizado, tal y como ha sido descrito en los epígrafes anteriores, bajo una serie de hipótesis de partida que condicionan los resultados del análisis. El valor que finalmente tome cada una de las variables que han sido estimadas será necesariamente distinto que el que ha sido estimado inicialmente. Resulta por tanto necesario evaluar la incidencia sobre los resultados de las variaciones de las variables que han sido estimadas. En los siguientes apartados se evalúa la variación del consumo de recursos del sistema (VAN del proyecto) para cada una de las alternativas en función de la variación de las variables más importantes dentro de un rango razonable. Este análisis se realizará sobre el Caso Base descrito anteriormente y sobre un escenario denominado como Caso Estresado en el que se fuerzan las hipótesis de partida que condicionan el comportamiento económico de la implantación del Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona.

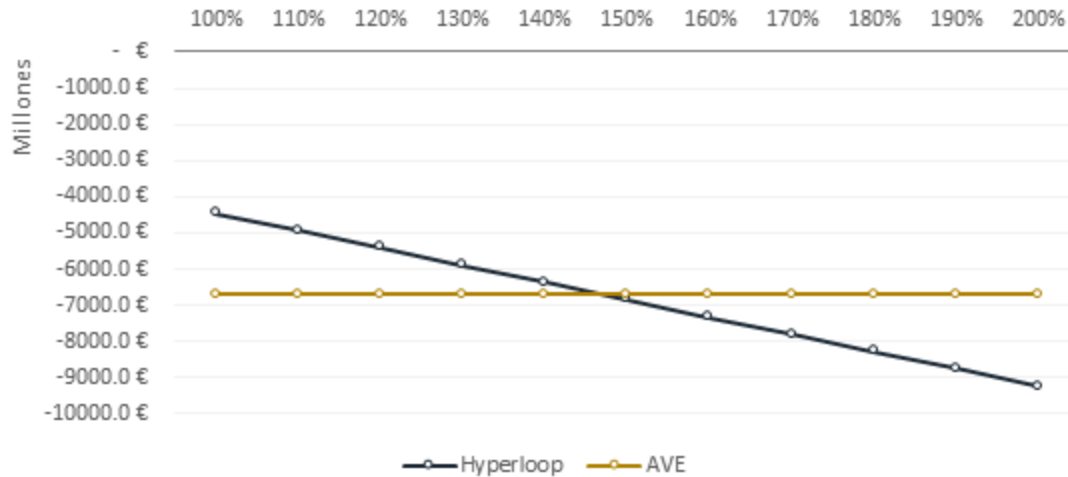
12.4.1 Sensibilidades sobre el Caso Base

A través de las figuras de ese epígrafe se analizará la incidencia sobre la capacidad de autofinanciación de cada una de las alternativas de la variación de las principales variables del sistema dentro del denominado Caso Base, cuyos datos de partida han sido descritos en los apartados precedentes de este estudio.

En primer lugar se analiza la incidencia sobre el VAN del proyecto de cambios en la inversión necesaria para la implantación del Hyperloop en el corredor Madrid-Barcelona. El valor de la inversión asociado al AVE es un valor cierto, ya que se basa en información sobre los costes reales incurridos en la implantación de este corredor de Alta Velocidad. Sin embargo, los costes de la inversión en la infraestructura del Hyperloop están basados en los descritos en el documento *Hyperloop Alpha*, el cual se considera que es probable que estén significativamente infravalorados, por lo que conviene

evaluar la incidencia de un aumento en el mismo desde los valores definidos en el Caso Base hasta un valor de inversiones en la infraestructura que doble al inicialmente presupuestado.

Figura 62 - Sensibilidad del VAN al incremento en la inversión del HYPERLOOP

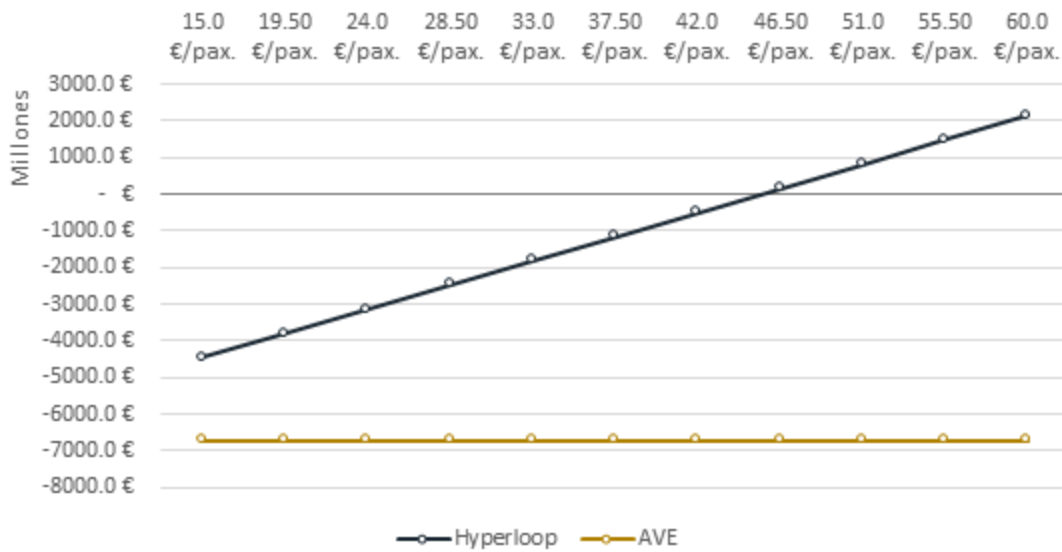


Fuente: Elaboración propia

Tal y como se puede apreciar en la figura anterior, y como no podía ser de otra manera, el aumento en los costes de construcción de la infraestructura del Hyperloop impacta negativamente en la capacidad de autofinanciación de esta alternativa. De esta manera, si en el Caso Base el AVE consumía más recursos que el Hyperloop por un valor equivalente a aproximadamente 2.255 millones de euros, esta diferencia se anularía a partir de unos sobrecostes del Hyperloop equivalentes al 147%. En el caso en el que los costes de implantación del Hyperloop se duplicasen esta alternativa consumiría más recursos que el AVE por un valor de 2.527 millones de euros.

Se debe destacar que todos estos cálculos se están elaborando sobre la base de que el precio del billete del Hyperloop se mantendría dentro del rango de valores definido en el documento *Hyperloop Alpha*, que al trasladarlo al caso español se correspondería con un precio del billete entre Madrid y Barcelona de 15€ del año 2008. El precio medio de ese mismo billete en el AVE está actualmente (año 2016) en el rango de los 60€, por lo que cabría suponer que existe un margen amplio para aumentar la capacidad de autofinanciación del Hyperloop a través de un aumento de la tarifa, tal y como se muestra en la siguiente gráfica.

Figura 63 – Sensibilidad del VAN al precio del billete en la relación MAD-BCN del HYPERLOOP

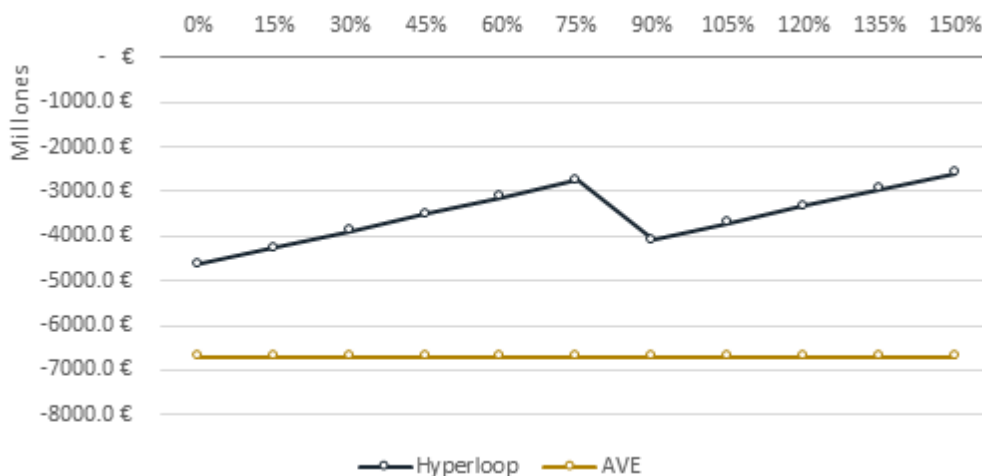


Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis de esta gráfica se deduce que el precio del billete tiene una incidencia significativa en la capacidad de autofinanciación del sistema. A partir de un precio de billete de Hyperloop de aproximadamente 46€, el Hyperloop resultaría autofinanciable. Cabe destacar que no se está analizando la incidencia del aumento de las tarifas sobre la disminución de la demanda, para lo cual sería preciso contar con información más detallada sobre las preferencias declaradas de los viajeros en ese corredor, en cualquier caso es previsible que el aumento del precio del billete disminuya en mayor o menor medida el número de viajeros, por lo que la diferencia en el capacidad de autofinanciación de ambas alternativas previsiblemente aumentaría a un ritmo inferior que el que se presenta en la gráfica anterior.

Conviene en cualquier caso analizar la importancia del valor estimado para la demanda inducida por el Hyperloop sobre la capacidad de autofinanciación de este sistema. En la siguiente gráfica se muestra una relación entre ambas variables.

Figura 64 - Sensibilidad del VAN a la demanda inducida por el HYPERLOOP

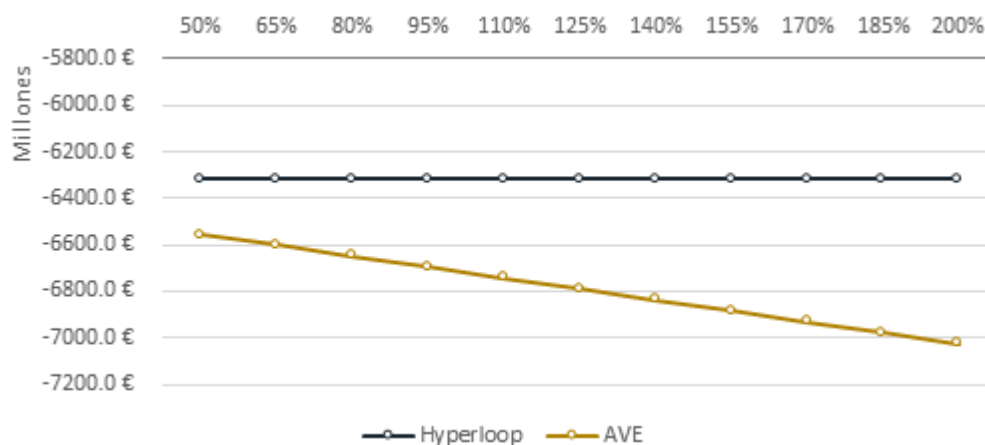


Fuente: Elaboración propia

Como se puede prever, el aumento de la demanda inducida por el Hyperloop provocará mayores ingresos y, debido a que los ingresos operacionales son siempre superiores que los costes de explotación, un mayor beneficio operativo que reduce el consumo de recursos de esta alternativa. En cualquier Caso Base destacar que a partir de un cierto valor de la demanda inducida, en el entorno del 75%, los valores de la demanda en la hora pico serían superiores a los que puede transportar el sistema con la concepción descrita en los epígrafes anteriores. En ese caso sería necesario construir un tercer bitubo para asumir la demanda máxima, lo que provocaría una reducción significativa de la capacidad de autofinanciación del sistema causada por los mayores costes de inversión en la infraestructura.

Una de las ventajas del Hyperloop sobre el AVE es que la primera alternativa, según su concepción actual, es autosuficiente energéticamente; ya que produciría, a través de los paneles solares colocados sobre los tubos, toda la energía necesaria para la propulsión de las vainas. Resulta conveniente analizar la incidencia sobre la capacidad de autofinanciación de ambas alternativas del aumento o disminución del precio de la energía, tal y como se muestra en la siguiente gráfica.

Figura 65 - Sensibilidad del VAN a variaciones en el precio de la energía

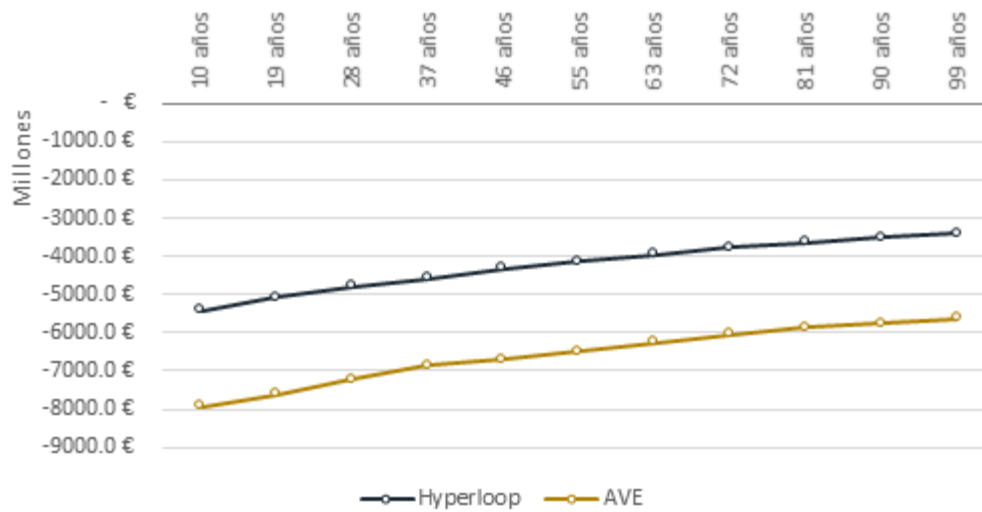


Fuente: Elaboración propia

El aumento del precio de la energía no afectaría al VAN del proyecto del Hyperloop, ya que éste es autosuficiente energéticamente. Sin embargo tiene una cierta incidencia sobre la capacidad de autofinanciación del AVE, si bien esta relación no resulta especialmente significativa. Si el precio del kW·h se redujese a la mitad del valor estimado en el Caso Base, el AVE reduciría la diferencia con el Hyperloop en su capacidad de autofinanciación hasta aproximadamente 239 millones de euros, mientras que si el precio del kW·h aumentase al doble del valor base, la diferencia aumentaría a aproximadamente 710 millones de euros.

Por último, conviene analizar la incidencia del plazo de análisis sobre la capacidad de autofinanciación de ambas alternativas. Debido a las causas mencionadas anteriormente, en el Caso Base se establece un plazo de análisis de 40 años, entre otras cosas debido a la vida útil del material móvil. Sin embargo, las mayores inversiones se corresponden con la infraestructura, que podría estimarse que tiene una vida útil muy superior, de 100 años. En la siguiente gráfica se muestra la variación del VAN de proyecto de ambas alternativas en función el plazo de análisis utilizado.

Figura 66 – Sensibilidad del VAN al horizonte temporal del análisis



Fuente: Elaboración propia

Ambas alternativas tienen un comportamiento semejante al aumentar el plazo de análisis, ya que sus curvas son prácticamente paralelas. En el caso del AVE se percibe una cierta inflexión en la tendencia aproximadamente en los 40 años de plazo. Esta particularidad es debida a que ese es el periodo de vida útil del material móvil, y por tanto en ese momento sería necesario realizar importantes inversiones de reposición para adquirir nuevos trenes que sustituyan los adquiridos para la puesta en marcha del sistema.

12.4.2 Sensibilidades sobre el Caso Estresado

Tal y como ha sido detallado en los epígrafes anteriores, el Caso Base para la comparación de ambas alternativas está basado en datos reales de los costes incurridos y los ingresos generados por el AVE desde su implantación en el corredor Madrid-Barcelona hasta la actualidad. Por otro lado, para estimar los costes y los ingresos del Hyperloop se ha intentado respetar en la medida de lo posible los valores estimados por el documento *Hyperloop Alpha*, adaptándolo al corredor español y completando las carencias de información en base a referencias del AVE. No es objeto del presente estudio realizar un análisis técnico detallado de los costes de implantación, pero parece probable que los costes descritos en el *Hyperloop Alpha* resultasen muy inferiores a los efectivamente incurridos si se pudiese en explotación este sistema. Esto se debe a que parece previsible que en este nuevo sistema de transporte, en el que aún hay muchas incertidumbres sobre cómo se van a resolver una gran variedad de problemas técnicos, aparezcan importantes necesidades de inversión cuando se evolucione desde el diseño conceptual hasta un proyecto constructivo de la infraestructura. Adicionalmente al trasladar el proyecto constructivo a la obra, es habitual incurrir en una serie de sobrecostes que no se tiene seguridad de que estén incluidos en el *Hyperloop Alpha*, y que en el caso de la implantación del AVE supusieron un incremento significativo del coste final de la obra, como son:

- Costes de Asistencia Técnica (un 8,8% sobre el coste total en el caso del AVE).
- Costes de Servicios en la Obra (un 3,5% sobre el coste total en el caso del AVE).
- Costes de Modificados, Complementarios y Obras de Emergencia (un 35,5% sobre el coste total en el caso del AVE).

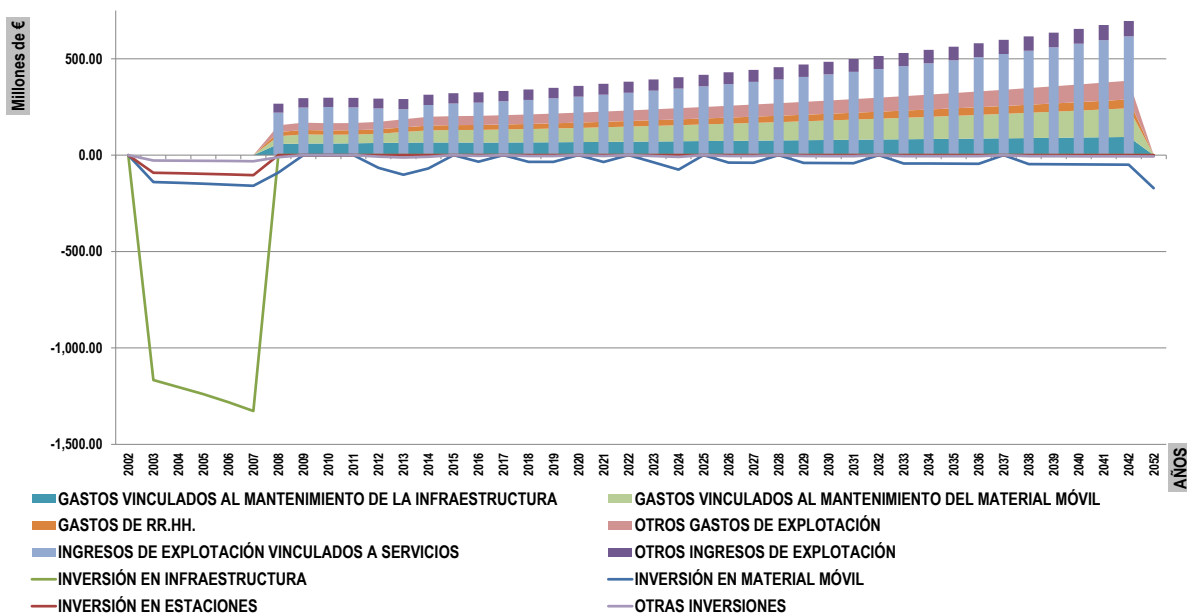
- Costes de Reposición de Servidumbres (un 2,3% sobre el coste total en el caso del AVE).
- Costes de Integración ambiental (un 2,4% sobre el coste total en el caso del AVE).

Por tanto, para completar el análisis efectuado para el Caso Base, se considera necesario efectuar una nueva comparativa entre ambas alternativas en las que se realicen las siguientes variaciones sobre el Caso Base:

- En el Caso Estresado se supondrá que la diferencia entre los costes estimados en base al diseño conceptual del documento *Hyperloop Alpha* serán menores que los que estimaría posteriormente el proyecto constructivo. El coste asociado a la construcción de la infraestructura del Hyperloop se estimaría en un valor un 50% superior al descrito para el Caso Base.
- En el Caso Estresado se comparará el coste proyectado para el Hyperloop con el que fue proyectado para el AVE, que es significativamente inferior al que finalmente se incurrió en la obra. El coste asociado a la construcción del AVE fue un 31,4% superior al que había sido proyectado.

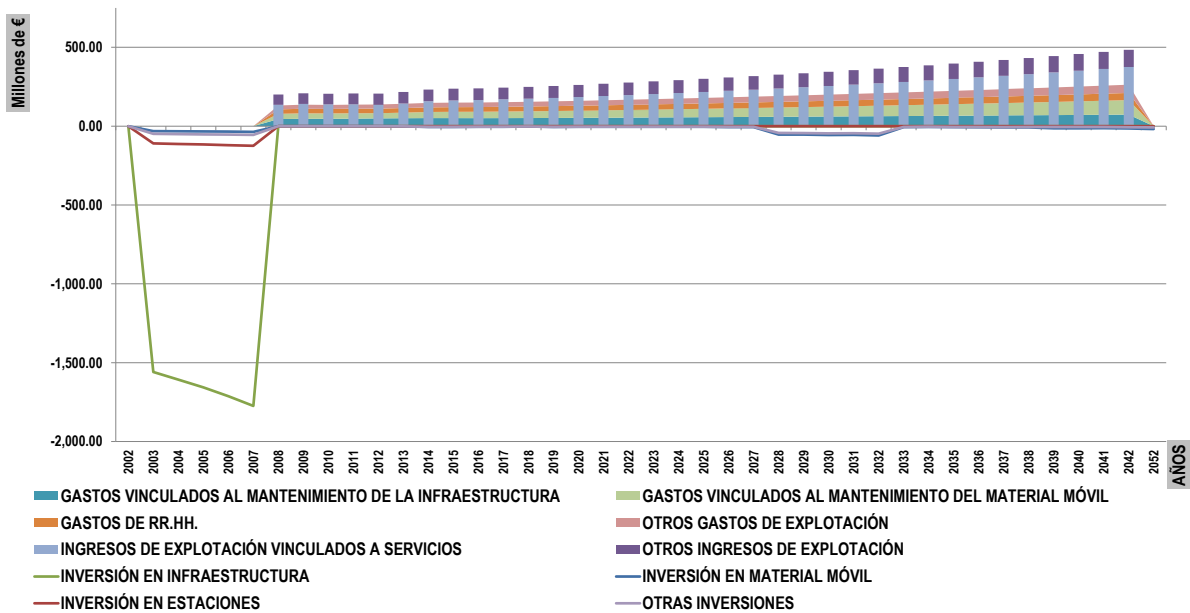
En las siguientes figuras se refleja gráficamente el comportamiento económico de ambas alternativas para el caso estresado.

Figura 67 – Comportamiento económico del proyecto del AVE en el corredor MAD-BCN para el caso estresado



Fuente: Elaboración propia

Figura 68 - Comportamiento económico del proyecto del Hyperloop en el corredor MAD-BCN para el caso estresado



Fuente: Elaboración propia

Tabla 73 – Indicadores de rentabilidad del proyecto del AVE para el caso base y estresado

	Caso Estresado	Caso Base
VAN de proyecto	-5.027.984.754 €	-6.713.116.268 €
TIR de proyecto	-1,64%	-2,51%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74 – Indicadores de rentabilidad del proyecto del Hyperloop para el caso base y estresado

	Caso Estresado	Caso Base
VAN de proyecto	-6.849.006.952 €	-4.457.736.111 €
TIR de proyecto	-3,57%	-2,25%

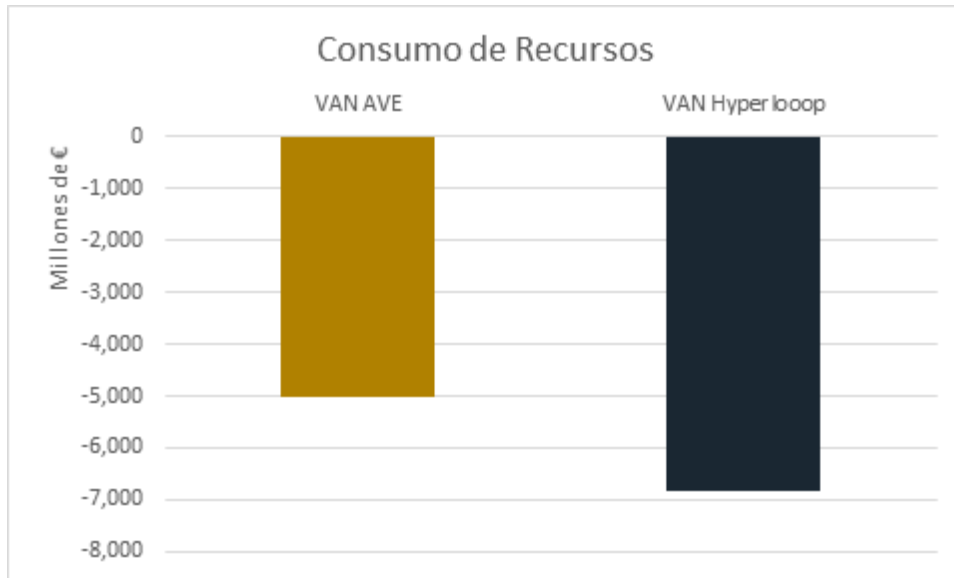
Fuente: Elaboración propia

En la comparación de ambas alternativas entre el Caso Base y el Caso Estresado, destaca que se ha invertido el orden de supremacía. Al igual que en el Caso Base, ninguna de las dos alternativas resultaría autofinanciable, si bien cabe destacar que, en el Caso Estresado, el Hyperloop consumiría aún más recursos que el AVE. Tal y como muestra el valor negativo de la TIR de proyecto, el AVE únicamente resultaría rentable económicamente si se aplicasen tasas de descuento negativas inferiores al -1,64 mientras que en el caso del Hyperloop la TIR de proyecto empeora significativamente hasta el -3,57.

El VAN de proyecto negativo indica que el proyecto del Hyperloop consumiría en ese plazo, descontando los flujos futuros a una tasa de descuento del 5%, el equivalente a 6.849 millones de

euros que no podrían ser cubiertos por los ingresos generados por el sistema, frente a un VAN de proyecto negativo de 5.028 millones de euros en el caso del AVE. Es decir, en el Caso Estresado, el AVE consumiría menos recursos, medidos a través del VAN, por un valor diferencial de 1.821 millones de euros, tal y como se refleja en la siguiente gráfica. En el Caso Base ya comentado, era el Hyperloop el que consumía menos recursos por un valor diferencial del VAN de 2.255 millones de euros.

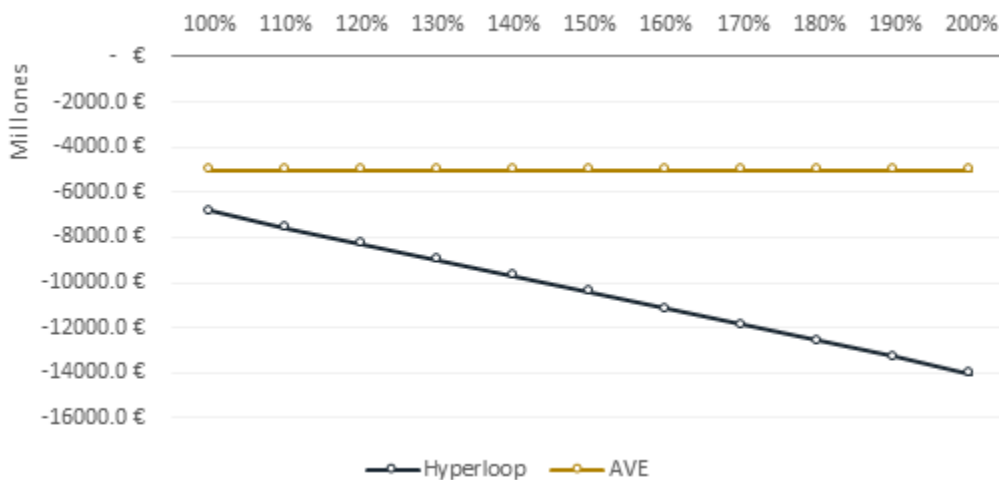
Tabla 75 – Consumo de recursos del AVE y del Hyperloop en el caso base



Fuente: Elaboración propia

A continuación se realiza un análisis de sensibilidades análogo al que se había ejecutado para el Caso Base. En primer lugar se analiza la incidencia sobre el VAN del proyecto de cambios en la inversión necesaria para la implantación del Hyperloop en el corredor Madrid Barcelona.

Figura 69 - Sensibilidad del VAN al incremento en la inversión del HYPERLOOP

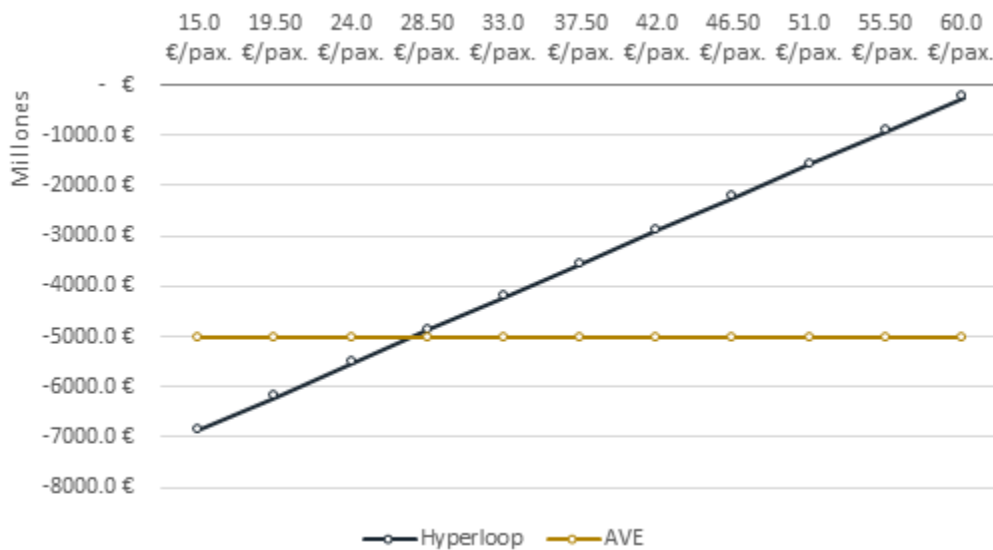


Fuente: Elaboración propia

Tal y como se puede apreciar en la figura anterior, el aumento en los costes de construcción de la infraestructura del Hyperloop impacta negativamente en la capacidad de autofinanciación de esta alternativa. De esta manera, si en el escenario de partida del caso estresado el Hyperloop consumía más recursos que el AVE por un valor equivalente a aproximadamente 1.800 millones de euros, si los costes de implantación del Hyperloop se duplicasen esta alternativa consumiría más recursos que el AVE por un valor de 9.000 millones de euros.

En la siguiente figura se muestra la variación del VAN de proyecto de ambas alternativas en función de la variación del precio de billete entre Madrid y Barcelona para el Hyperloop.

Figura 70 – Sensibilidad del VAN al precio del billete en la relación MAD-BCN del HYPERLOOP

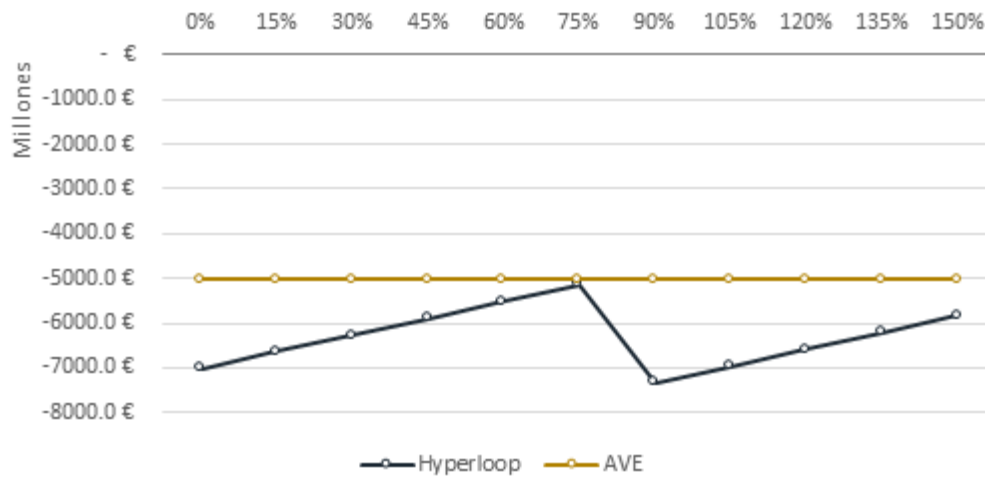


Fuente: Elaboración propia

En el caso en que el precio del billete entre Madrid y Barcelona se fijase en un valor de 27,5€, el VAN del proyecto de ambas alternativas se igualaría. A partir de un precio de billete de Hyperloop de aproximadamente 62€, el Hyperloop resultaría autofinanciable.

En la siguiente gráfica se muestra una relación entre el valor estimado para la demanda inducida por el Hyperloop sobre la capacidad de autofinanciación.

Figura 71 - Sensibilidad del VAN a la demanda inducida por el HYPERLOOP

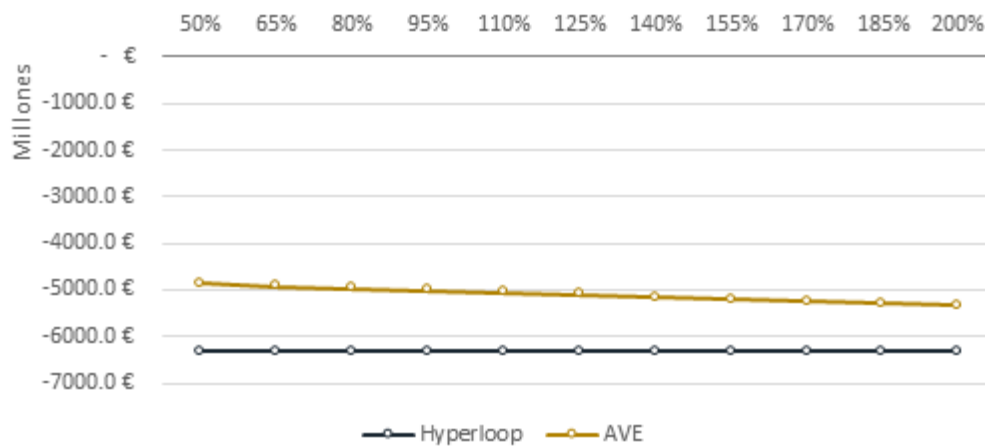


Fuente: Elaboración propia

En este caso, al contrario que en el análisis de sensibilidad de esta variable sobre el Caso Base, el Hyperloop se mantiene siempre en valores de VAN de proyecto inferiores que el AVE, si bien ambos valores prácticamente se igualan para un valor de la demanda inducida del 75%, que es el momento en que sería necesario construir un tercer bitubo para asumir la demanda máxima, lo que provocaría una reducción significativa de la capacidad de autofinanciación del sistema causada por los mayores costes de inversión en la infraestructura.

A través de la siguiente gráfica se analiza la incidencia sobre la capacidad de autofinanciación de ambas alternativas del aumento o disminución del precio de la energía.

Figura 72 - Sensibilidad del VAN a variaciones en el precio de la energía



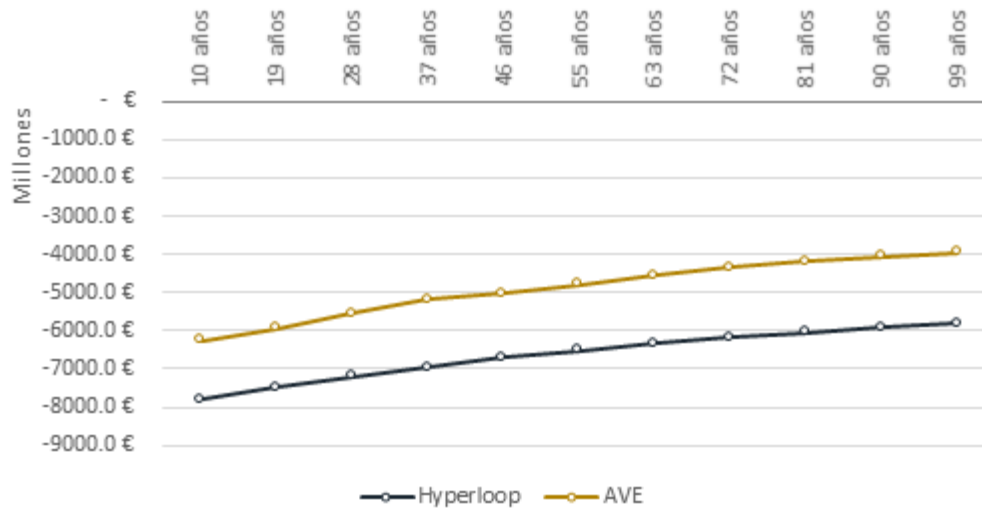
Fuente: Elaboración propia

Al igual que en el análisis de sensibilidad sobre el caso base, las variaciones en esta tienen una cierta incidencia sobre la capacidad de autofinanciación del AVE, si bien esta relación no resulta especialmente significativa. Si el precio del kW·h se redujese a la mitad del valor estimado en el caso base, el AVE aumentaría la diferencia con el Hyperloop en su capacidad de autofinanciación hasta

aproximadamente 2.000 millones de euros, mientras que si el precio del kW·h aumentase al doble del valor base, la diferencia se reduciría a aproximadamente 970 millones de euros.

Por último, se analiza la incidencia del plazo de análisis sobre la capacidad de autofinanciación de ambas alternativas.

Figura 73 – Sensibilidad del VAN al horizonte temporal del análisis



Fuente: Elaboración propia

Ambas alternativas tienen un comportamiento semejante al aumentar el plazo de análisis, ya que sus curvas son prácticamente paralelas, manteniendo también la inflexión en la tendencia en los 40 años de plazo debida a su coincidencia con el periodo de vida útil del material móvil. La diferencia con el Caso Base es que, en el Caso Estresado, es el AVE el que resulta siempre más autofinanciable que el Hyperloop, independientemente del plazo de análisis.

12.5 Conclusiones al Análisis de Viabilidad Económica

La conclusión más importante de este estudio es que, con las condiciones descritas en los epígrafes anteriores, ninguna de las dos alternativas, ni el AVE ni el Hyperloop, resulta económicamente autosostenible en el corredor Madrid-Barcelona. Si bien cabe realizar una serie de salvedades sobre esta aseveración, en base al análisis de la incidencia sobre el VAN del proyecto de la variación de las principales variables que alimentan el modelo:

- El AVE no resultaría autofinanciable en un plazo de análisis de 40 años, ya que se realiza el análisis en base a costes e ingresos reales desde el comienzo de su construcción hasta la actualidad (ocho años después de su puesta en servicio). Los valores finales de la inversión ejecutada en la fase de construcción únicamente podrían ser compensados por los ingresos futuros si en el futuro la demanda o los ingresos por viajero creciesen muy por encima de lo previsible; o en el caso en que se analice el proyecto por un plazo similar al de amortización de la infraestructura (hasta 100 años) y se minimice la tasa de descuento sobre los flujos futuros.
- El Hyperloop no resultaría autofinanciable con las hipótesis descritas, y basadas en el documento *Hyperloop Alpha*. Sin embargo, sería relativamente sencillo provocar que la

implantación del Hyperloop fuese sostenible económicamente si se aumentase el precio de venta de los billetes hasta el entorno de los precios actualmente vigentes en el AVE (desde los 15€ basados en el *Hyperloop Alpha* hasta los 60€ de precio del billete de AVE entre Madrid y Barcelona). En ese caso los costes de construcción de la infraestructura podrían ser hasta un 40% superiores a los descritos en el Caso Base, antes de que el VAN del proyecto se haga negativo.

Resulta necesario incidir en la importante diferencia en las condiciones bajo las que se evalúan ambas alternativas. Si bien la evaluación de la viabilidad del AVE se basa en datos reales de los costes de inversión y de los costes e ingresos de explotación durante los primeros ocho años, en el caso del Hyperloop la información disponible es significativamente más imprecisa y menos fiable. Resultaría necesario realizar un análisis crítico de mayor profundidad sobre los costes definidos en el *Hyperloop Alpha*, así como sus condiciones de explotación. En el presente estudio de viabilidad se han adelantado las consecuencias de un eventual incremento en los costes de implantación de la infraestructura del Hyperloop a través del análisis del Caso Estresado, para el cual el Hyperloop resultaría menos viable que el AVE en una significativa cantidad de escenarios. En cualquier caso, también en el Caso Estresado el Hyperloop tendría un comportamiento económico muy ventajoso sobre el AVE si ambos medios de transporte se operasen con tarifas similares.

Conviene resaltar las condiciones de este análisis, en el que se estudia la viabilidad del proyecto del AVE y del Hyperloop sin distorsionar el resultado en función de las estructuras contractuales o de las alternativas de financiación que puedan resultar elegidas para su implantación. De este modo, la vía de provisión elegida para el AVE, a través de empresas públicas que tienen condiciones muy ventajosas de financiación, proporciona unas eficiencias importantes en lo relativo al coste asociado a captar recursos para la inversión, mientras que se entiende que podría implicar unos costes de operación superiores a los que podría ofrecer un gestor privado.

Finalmente, resulta conveniente esclarecer que el hecho de que una alternativa de transporte resulte no autofinanciable, no significa necesariamente que el valor negativo del VAN de proyecto, o las necesidades de recursos que no pueden ser cubiertos por el proyecto, serán siempre y de manera necesaria sufragados por las arcas públicas. Es decir, el análisis de viabilidad económica no debe entenderse como el impacto que el proyecto tendrá en los presupuestos públicos, ya que, aún en el caso en que el VAN de proyecto resulte negativo, su impacto en los presupuestos públicos podría verse minorado debido a que: a) No se considera los retornos fiscales debido a los impuestos indirectos sobre las obras y directos sobre los beneficios de las empresas o las rentas de los trabajadores, b) No se considera retornos por incremento en actividad económica en fases de obra y explotación y c) No se contabilizan las aportaciones de Fondos Supranacionales.

BLOQUE E

13 Conclusiones

En el presente epígrafe se presentan las principales conclusiones obtenidas del análisis comparativo sobre la viabilidad entre los medios de transporte Hyperloop y AVE en el corredor Madrid-Barcelona, realizado a lo largo de todo el Estudio.

A partir del análisis llevado a cabo sobre el Hyperloop y toda su documentación existente actualmente, se puede observar que, a la fecha de redacción del presente Estudio, este innovador medio de transporte aun cuenta con numerosas incógnitas acerca de su viabilidad técnica, modo de operación, capacidad de explotación comercial, costes de explotación a incurrir, etc. En este sentido, aun se sigue investigando la forma de impulsión óptima que debería desarrollarse y, cabe mencionar también, que el *Hyperloop Alpha* no considera ni desarrolla los costes asociados a la explotación y a la reposición de activos asociados al Hyperloop.

No obstante lo anterior, gran parte del éxito que se otorga al Hyperloop se debe a las altas velocidades que, en principio, es capaz de alcanzar, así como a la alta frecuencia con la que operan las vainas. Sin embargo, estas capacidades implican un desarrollo tecnológico que actualmente no se ha finalizado ni probado.

Por todo lo anterior, son muchos los especialistas del sector que cuestionan la viabilidad de este nuevo medio de transporte.

Teniendo en cuenta el marco conceptual expuesto, **debe resaltarse que los resultados del presente Estudio sólo pueden entenderse desde el punto de vista en el que éste se plantea**. En este sentido, el presente Proyecto parte de la hipótesis de que el Hyperloop es viable técnicamente, si bien, por ser un medio innovador, se asocia a una serie de riesgos que deben considerarse.

Debido a las propias características técnicas del Hyperloop y, en base al estudio de tráfico realizado, una de las principales conclusiones que se obtienen es que para proporcionar un servicio capaz de cubrir las necesidades de transporte del corredor Madrid-Barcelona, es **necesario implantar dos bitubos** (4 tubos, 2 por sentido).

Por ser el Hyperloop un medio de transporte considerado limpio y verde, las ventajas que genera respecto a cualquier otro medio de transporte son elevadas. En este sentido, el **Análisis Coste Beneficio arroja unos resultados muy favorables para el Hyperloop en comparación con el AVE**. Los ahorros de tiempo, así como los ahorros de coste asociados a las externalidades medioambientales (contaminación atmosférica, cambio climático, ruido, impacto visual) y a la accidentalidad, llegan a alcanzar cifras próximas a los 200 millones de € tan solo en su primer año de explotación. Además, si se tienen en cuenta los ahorros generados para los usuarios del Hyperloop, como consecuencia del menor uso de sus vehículos propios (coche y moto), así como por el bajo precio de los billetes (muy inferior en relación a los otros medios de transporte), los ahorros generados por el Hyperloop ascienden hasta los 600 millones de € en 2008.

En relación al **modelo contractual**, el carácter innovador y de difícil implantación del Hyperloop, dificulta el poder emplear un modelo similar al utilizado por el AVE. Es necesario, sin embargo, afrontar un modelo también de separación vertical, donde el operador del servicio sería una empresa privada

que funcionaría en base a un contrato de Concesión de Gestión de Servicio Público adjudicado a través de un proceso de Colaboración Público Privada con Dialogo Competitivo. El otro actor principal en el sistema, el Gestor de la Infraestructura, se mantendría de manera similar que en el AVE en el ámbito público a través de un Ente Público Empresarial que incluso podría ser la misma empresa que en el AVE (ADIF Alta Velocidad).

Desde el punto de vista de la viabilidad económica, se concluye que **ni el AVE ni el Hyperloop son autofinanciables bajo las condiciones establecidas en el Caso Base** del presente Estudio. No obstante, **en el caso del Hyperloop existe un mayor margen para poder alcanzar la sostenibilidad económica** del proyecto, siendo necesario, para ello, obviar el precio de los billetes propuesto en el documento *Hyperloop Alpha* y asumir tarifas mayores, en el rango de las ofertadas actualmente por el AVE. Esta diferencia entre ambos medios de transporte, se debe a las menores inversiones asociadas a la implantación del Hyperloop, a los menores costes unitarios de explotación y a su capacidad para captar una demanda significativamente superior que el AVE.

BLOQUE F

14 Bibliografía

- Elon Musk (SpaceX) (2013). *Hyperloop Alpha*.
- Tribunal de Cuentas (2013). Informe de fiscalización de las principales contrataciones relacionadas con la construcción de la línea férrea de alta velocidad Madrid-Barcelona, desarrolladas desde el 1 de enero de 2002 hasta la puesta en funcionamiento de la línea.
- Ministerio de Fomento (1997). Estudio de optimización funcional de la línea de alta velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-frontera francesa.
- Ministerio de Fomento (2016). Portal del Observatorio del Transporte y la Logística en España.
- Alberto García, Iván Palacio, Luis Eduardo Mesa, Ángeles Táuler (2015). Observatorio del Ferrocarril en España. Informe 2014. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- Ginés de Rus Mendoza, Ofelia Betancor Cruz, Javier Campos Méndez (2006). Evaluación Económica de Proyectos de Transporte. BID.
- European Commission (2014). Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects.
- European Commission (2008). Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects.
- PPIAF (Grupo del Banco Mundial) (2011). La Reforma de los Ferrocarriles: Manual para Mejorar el Rendimiento del Sector Ferroviario.
- Andrés López Pita, Francesc Robusté (2005). Impact of High-Speed Lines in Relation to Very High Frequency Air Services. CENIT.
- Andrés López Pita, Bernat Reixach Sampol (2010). Tesina. Modelización de la demanda de viajeros en la línea Madrid-Barcelona.
- Álvarez, O. y J. A. Herce (1993). Líneas ferroviarias de alta velocidad en España. Revista de Economía Aplicada. Vol 1, nº1, pp. 5-32.
- José María Menéndez Martínez, Begoña Guirao Abad (2000). Tesis Doctoral. El cálculo del tráfico inducido como herramienta en la planificación de infraestructuras de transporte. Aplicación a la puesta en servicio de las nuevas líneas ferroviarias de Alta Velocidad en España.
- Francesc Astals Coma, Francisco Juan Salado Benítez (2010). Proyecto final de carrera. Estudio de los costes totales, incluyendo externalidades, del AVE. Aplicación al caso Barcelona-Madrid y comparación con otros modos de transporte.
- José A. Jiménez Redondo (2013). Eficiencia Energética en la Operación de los trenes de Alta Velocidad de RENFE. RENFE.
- Francisco Juan Salado Benítez (2010). Estudio de los costes totales, incluyendo externalidades, del AVE. Aplicación al caso Barcelona – Madrid y comparación con otros modos de transporte.
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) (2014). Informe y propuesta de resolución Expediente c/0575/14 REI / Activos ADIF.

- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) (2013). Informe sobre la competencia en el transporte de mercancías por ferrocarril en España.
- CE Delft (2011). External Costs of Transport in Europe- Update Study for 2008.
- Ministerio de Fomento-CEDEX de España (2010). Manual para Evaluación Económica de proyectos de transporte.
- Ministerio de Fomento (2010). Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio, de estudios y proyectos de carreteras.
- European Commission (2005). Railway Project Appraisal Guidelines.
- Rus, G. de (2001). Análisis Coste-Beneficio. Ariel Economía.
- Rus, G. y V. Inglada (1993). Análisis coste-beneficio del tren de alta velocidad. Revista de Economía Aplicada. Vol 1, nº 3, pp. 27-48.
- María José Caride Estévez, Xosé Manuel González Martínez (200). Análisis Coste Beneficio de la conexión Galicia-Madrid con un servicio ferroviario de alta velocidad. Universidad de Vigo.
- Ofelia Betancor, Gerard Llobet (2015). Contabilidad Financiera y Social de la Alta Velocidad en España. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y FEDEA.
- Judith Fernández Jánez (2015). Una visión actualizada de la competencia entre el tren de alta velocidad y el avión. Revista de Alta Velocidad.
- Ginés de Rus, Concepción Román (2006). Análisis económico de la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona. Revista de Economía Aplicada.
- Iñaki Morlán Santa Catalina, Alfonso Davalillo Aurrecoechea (2010). Tesis Doctoral. Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria.
- Javier Campos Méndez, Ginés de Rus Mendoza, Ignacio Barrón de Angoiti (2009). El transporte ferroviario de alta velocidad. Una visión económica. Fundación BBVA.
- Concepción Román García (2006). Competencia intermodal en el corredor Madrid-Zaragoza-Barcelona ante la introducción del tren de alta velocidad. FEDEA.
- RENFE (2008). Nota de Prensa. El AVE reinará en la ruta BCN-Madrid pero no hundirá ni al avión ni al bus.
- Portales web de AENA y RENFE (2016). Información sobre horarios de vuelos y capacidad de transporte.
- Portal web del FMI (2016). Report for Selected Countries and Subjects.

15 Anexo. Modelo para el Estudio de Viabilidad Económica en el Caso Base

15.1 Tabla de inputs Hyperloop

Tabla 76. Modelo Económico. Inputs. Hyperloop

CONCEPTO	VARIABLE TECNICA Y/O DE REFERENCIA PLURIANUAL	FASE INVERSION INTENSIVA					FASE DE EXPLOTACION COMERCIAL							
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2013	2018	2023	2028	2033	2038	2042
HORIZONTE TEMPORAL														
AÑO VALOR ACTUAL		2003												
AÑO INICIO FASE INVERSIÓN INTENSIVA		2003												
AÑO INICIO FASE EXPLOTACIÓN COMERCIAL		2008												
AÑO FINALIZACIÓN DEL ANÁLISIS		2042												
PLAZO DE ANÁLISIS		40 años												
VARIABLES MACROECONOMICAS														
INDICE DE ACTUALIZACION DE PRECIOS		3,10%	3,05%	3,38%	3,56%	2,84%	4,13%	1,53%	1,15%	1,51%	1,51%	1,51%	1,51%	1,51%
Factor de actualización		1,00000	1,03102	1,06250	1,09843	1,13757	1,16992	1,20915	1,23675	1,27291	1,30841	1,34429	1,38064	1,41756
CRECIMIENTO DEL PIB		3,19%	3,17%	3,72%	4,18%	3,77%	1,12%	-1,23%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%
Factor de actualización		1,00000	1,03186	1,06457	1,10414	1,15026	1,19361	1,13260	1,20683	1,31588	1,43477	1,56440	1,70574	1,82795
VARIABLES FISICAS														
DEMANDA DE VIAJEROS														
DEMANDA EN LOS SERVICIOS MAD-ZGZ (inducida y previa en el corredor)		7%				2.341.591	1.611.829	1.915.825	2.087.562	2.274.787	2.478.804	2.701.118	2.893.242	
DEMANDA EN LOS SERVICIOS MAD-BCN (inducida y previa en el corredor)		7%				6.155.622	6.089.592	7.194.117	7.839.005	8.542.055	9.308.159	10.142.972	10.864.416	
DEMANDA EN LOS SERVICIOS ZGZ-BCN (inducida y previa en el corredor)		7%				772.365	854.035	1.084.710	1.181.944	1.287.949	1.403.460	1.529.331	1.638.108	
DEMANDA POR TRAMO EN HORA PUNTA														
DEMANDA PICO EN EL TRAMO MADRID - ZARAGOZA						2.856	2.546	3.003	3.273	3.566	3.886	4.235	4.536	
DEMANDA PICO EN EL TRAMO ZARAGOZA - BARCELONA						2.362	2.312	2.747	2.993	3.261	3.554	3.873	4.148	
DISTANCIAS														
LONGITUD TRAMO MAD-ZGZ		272 km				272,00	272,00	272,00	272,00	272,00	272,00	272,00	272,00	
LONGITUD TRAMO MAD-BCN		550 km				550,00	550,00	550,00	550,00	550,00	550,00	550,00	550,00	
LONGITUD TRAMO ZGZ-BCN		278 km				278,00	278,00	278,00	278,00	278,00	278,00	278,00	278,00	
TIEMPOS DE VIAJE														
DURACIÓN VIAJE MAD-ZGZ		20 min				20	20	20	20	20	20	20	20	
DURACIÓN VIAJE MAD-BCN		35 min				35	35	35	35	35	35	35	35	
DURACIÓN VIAJE ZGZ-BCN		20 min				20	20	20	20	20	20	20	20	
CAPACIDAD														
NUMERO DE BITUBOS		2				2	2	2	2	2	2	2	2	
NUMERO DE VIAJEROS POR VAINA		28				28	28	28	28	28	28	28	28	
APROVECHAMIENTO MEDIO DE LAS VAINAS (viajeros km/plazas km)		85%				85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	
TIEMPO MÍNIMO ENTRE VAINAS		0,50 min				0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	

NUMERO DE SERVICIOS O EXPEDICIONES i+v																	
NÚMERO DE SERVICIOS MAD-ZGZ										98.387	67.725	80.498	87.713	95.580	104.152	113.493	121.566
NÚMERO DE SERVICIOS MAD-BCN										258.640	255.866	302.274	329.371	358.911	391.100	426.176	456.488
NÚMERO DE SERVICIOS ZGZ-BCN										32.453	35.885	45.576	49.662	54.116	58.969	64.258	68.828
VAINAS EN SERVICIO																	
VAINAS NECESARIAS PARA SERVICIO EN HORA PUNTA										147	137	162	176	192	209	228	244
VAINAS NECESARIAS PARA ESPERA LAS ESTACIONES EN HORA PUNTA		15								15	15	15	15	15	15	15	15
VAINAS EN PARADA DE MANTENIMIENTO		5%								9	8	9	10	11	12	13	13
NÚMERO DE VAINAS										171	171	186	201	218	236	256	272
NUEVAS VAINAS A ADQUIRIR				34,20	34,20	34,20	34,20	34,20		0	1	2	3	3	4	4	5
PRODUCCIÓN VAINAS-KILÓMETRO ANUALES										178.035.198	169.123.304	200.816.384	218.817.878	238.442.962	259.827.776	283.130.765	303.268.699
ENERGÍA CONSUMIDA POR CADA SERVICIO i+v																	
KWH CONSUMIDOS EN SERVICIOS MAD-ZGZ		KwH								0	0	0	0	0	0	0	0
KWH CONSUMIDOS EN SERVICIOS MAD-BCN		KwH								0	0	0	0	0	0	0	0
KWH CONSUMIDOS EN SERVICIOS ZGZ-BCN		KwH								0	0	0	0	0	0	0	0
PRECIOS UNITARIOS / PARTIDAS ALZADAS VINCULADOS A INGRESO OPERATIVO																	
VINCULADOS A DEMANDA POR SERVICIOS i o v																	
PRECIO UNITARIO TRAYECTO EN SERVICIOS MAD-ZGZ		7,50 €/pax.								8,77	9,82	10,03	10,75	11,58	12,48	13,46	14,29
PRECIO UNITARIO TRAYECTO EN SERVICIOS MAD-BCN		15,0 €/pax.								17,55	19,64	20,05	21,49	23,17	24,97	26,91	28,57
PRECIO UNITARIO TRAYECTO EN SERVICIOS ZGZ-BCN		7,50 €/pax.								8,77	9,82	10,03	10,75	11,58	12,48	13,46	14,29
POR PUBLICIDAD																	
EN LA ESTACION DE MADRID		3.709.317 €/año								4.339.605	4.866.053	4.958.415	5.315.123	5.728.718	6.174.497	6.654.964	7.066.120
EN LA ESTACION DE ZARAGOZA		632.804 €/año								740.330	828.435	845.898	906.752	977.310	1.053.359	1.135.326	1.205.469
EN LA ESTACION DE BARCELONA		2.345.279 €/año								2.743.789	3.070.323	3.135.043	3.360.577	3.622.080	3.903.931	4.207.715	4.467.676
PRECIO UNITARIO PUBLICIDAD TRAYECTO EN SERVICIOS MAD-ZAG		1,5 €/tr.								1,71	1,92	1,96	2,10	2,26	2,44	2,63	2,79
PRECIO UNITARIO PUBLICIDAD TRAYECTO EN SERVICIOS MAD-BCN		7,8 €/tr.								9,10	10,19	10,40	11,15	12,02	12,95	13,96	14,82
PRECIO UNITARIO PUBLICIDAD TRAYECTO EN SERVICIOS ZAG-BCN		0,5 €/tr.								0,58	0,65	0,66	0,71	0,76	0,82	0,89	0,94
POR CANON DE EXPLOTACION DE ZONAS COMERCIALES Y APARCAMIENTOS POR EMPRESAS CONCESIONARIAS																	
EN LA ESTACION DE MADRID		24.749.156 €/año								28.954.538	32.400.366	33.083.344	35.463.353	38.222.926	41.197.235	44.402.989	47.146.290
EN LA ESTACION DE ZARAGOZA		4.159.421 €/año								4.866.191	5.445.308	5.560.091	5.960.083	6.423.866	6.923.737	7.462.507	7.923.554
EN LA ESTACION DE BARCELONA		15.701.413 €/año								18.369.401	20.555.510	20.988.807	22.498.737	24.249.472	26.136.439	28.170.241	29.910.651
POR CANON DE LAS LÍNEAS DE FIBRA ÓPTICA																	
EN EL TRAMO EN SERVICIOS MAD-ZGZ		1.117.850 €/año								1.307.796	1.463.434	1.494.282	1.601.781	1.726.423	1.860.764	2.005.559	2.129.466
EN EL TRAMO EN SERVICIOS ZGZ-BCN		1.143.339 €/año								1.337.615	1.496.802	1.528.354	1.638.303	1.765.788	1.903.192	2.051.289	2.178.021

PRECIOS UNITARIOS / PARTIDAS ALZADAS VINCULADOS A GASTO OPERATIVO															
VINCULADOS A MANTENIMIENTO DE ESTACIONES															
MANTENIMIENTO ESTACION DE MADRID		3.300.000 €/año					3.860.737	4.320.196	4.411.263	4.728.608	5.096.564	5.493.152	5.920.600	6.286.386	
MANTENIMIENTO ESTACION DE ZARAGOZA		1.100.000 €/año					1.286.912	1.440.065	1.470.421	1.576.203	1.698.855	1.831.051	1.973.533	2.095.462	
MANTENIMIENTO ESTACION DE BARCELONA		2.200.000 €/año					2.573.824	2.880.131	2.940.842	3.152.405	3.397.709	3.662.101	3.947.067	4.190.924	
VINCULADOS A MANTENIMIENTO DE INFRA Y SUPERESTRUCTURA															
PRECIO UNITARIO MANTENIMIENTO DE INFRA Y SUPERESTRUCTURA		70.109,00 €/km					82.021,94	91.783,22	93.717,95	100.460,00	108.277,27	116.702,85	125.784,05	133.555,23	
VINCULADOS A MANTENIMIENTO DL MATERIAL MOVIL															
PRECIO UNITARIO MANTENIMIENTO DEL MATERIAL AUXILIAR		0,019 €/vaina-km					0,022	0,025	0,025	0,027	0,029	0,032	0,034	0,036	
PRECIO UNITARIO MANTENIMIENTO DE LAS VAINAS		0,140 €/vaina-km					0,164	0,183	0,187	0,201	0,216	0,233	0,251	0,267	
VINCULADOS AL CONSUMO ELÉCTRICO															
PRECIO DEL KWHORA		0,082 €/KwH					0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	
RR.HH.															
PERSONAL EN LAS VAINAS		0,000 €/vaina-km					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PERSONAL EN LAS ESTACIONES		13.500.000 €/año					15.793.922,75	15.290.126,97	16.292.225,71	17.764.380,50	19.369.367,87	21.119.363,64	23.027.469,13	24.677.349,57	
PERSONAL DE ESTRUCTURA (crec. con producc y coste inicial)	4,20%	10.600.000 €/año					12.401.154,16	13.847.818,36	14.245.661,74	15.334.994,49	16.604.076,04	17.985.133,58	19.489.190,25	20.789.198,45	
SEGUROS Y SERVICIOS EXTERIORES															
SEGUROS DE MATERIAL MÓVIL		1.129,00 €/vaina					1.320,84	1.478,03	1.509,19	1.617,76	1.743,64	1.879,32	2.025,56	2.150,71	
SERVICIOS A LA VENTA (comisiones, seguros, etc.)		7,50% sobre ingresos					7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	
SERVICIOS EN LOS TALLERES (crec. con inv. talleres y coste inicial)	70%	2.804.664,66 €					3.281.233,85	3.691.404,73	3.790.156,03	4.089.556,59	4.413.715,87	4.795.871,06	5.179.733,22	5.551.107,65	
SERVICIOS EN OFICINAS Y ESTACIONES (limpieza, energía, etc.)		2.873.977,39 €					3.362.324,22	3.762.468,38	3.841.778,68	4.118.155,50	4.438.608,91	4.783.998,33	5.156.264,15	5.474.827,87	
INVERSIONES															
CONSTRUCCIÓN INFRAESTRUCTURA		5.198.000.000 €	1.039.600.000	1.071.848.392	1.104.571.923	1.141.928.546	1.182.615.460								
REMODELACIÓN DE ESTACIONES		547.020.000 €	109.404.000	112.797.712	116.241.426	120.172.711	124.454.465								
VAINA (plazo de reposición y coste unitario)	25 años	920.000 €/ud	31.464.000	32.440.013	33.430.407	34.561.023	35.792.433	0,00	1.204.418,28	2.459.613,22	3.954.835,97	52.856.000,72	6.125.696,70	8.252.958,13	14.020.546,29
MATERIAL AUXILIAR (plazo de reposición y coste total)	25 años	128.862.209 €	25.772.442	26.571.903	27.383.143	28.309.241	29.317.899	0,00	0,00	0,00	0,00	39.803.301,82	0,00	0,00	0,00
TALLERES Y BASES DE MANTENIMIENTO (crec. con producc y coste inicial)	100%	115.800.000 €	23.160.000	23.878.423	24.607.431	25.439.655	26.346.070	0,00	886.547,40	1.810.470,45	2.911.073,01	3.137.597,54	4.508.998,72	4.859.865,51	6.450.146,44

Fuente: Elaboración propia

15.2 Tabla de inputs AVE

Tabla 77. Modelo Económico. Inputs. AVE

CONCEPTO	VARIABLE TECNICA Y/O DE REFERENCIA PLURIANUAL	FASE INVERSION INTENSIVA					FASE DE EXPLOTACION COMERCIAL							
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2013	2018	2023	2028	2033	2038	2042
HORIZONTE TEMPORAL														
AÑO VALOR ACTUAL		2003												
AÑO INICIO FASE INVERSIÓN INTENSIVA		2003												
AÑO INICIO FASE EXPLOTACIÓN COMERCIAL		2008												
AÑO FINALIZACIÓN DEL ANÁLISIS		2042												
PLAZO DE ANÁLISIS		40 años												
VARIABLES MACROECONOMICAS														
INDICE DE ACTUALIZACION DE PRECIOS		3,10%	3,05%	3,38%	3,56%	2,84%	4,13%	1,53%	1,15%	1,51%	1,51%	1,51%	1,51%	1,51%
Factor de actualización		1,00000	1,03102	1,06250	1,09843	1,13757	1,16992	1,30915	1,33675	1,43291	1,54441	1,66459	1,79412	1,90497
CRECIMIENTO DEL PIB		3,19%	3,17%	3,72%	4,18%	3,77%	1,12%	-1,23%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%	1,75%
Factor de actualización		1,00000	1,03186	1,06457	1,10414	1,15026	1,19361	1,13260	1,20683	1,31588	1,43477	1,56440	1,70574	1,82795
VARIABLES FISICAS														
DEMANDA DE VIAJEROS														
DEMANDA EN LOS SERVICIOS MAD-ZGZ							1.704.483	1.176.841	1.398.797	1.524.187	1.660.885	1.809.844	1.972.162	2.112.437
DEMANDA EN LOS SERVICIOS MAD-BCN							2.109.943	3.070.184	3.769.710	4.107.631	4.476.028	4.877.466	5.314.907	5.692.943
DEMANDA EN LOS SERVICIOS ZGZ-BCN							563.925	623.555	791.977	862.971	940.367	1.024.705	1.116.607	1.196.028
DEMANDA POR TRAMO EN HORA PUNTA														
DEMANDA PICO EN EL TRAMO MADRID - ZARAGOZA							1.287	1.433	1.743	1.900	2.070	2.256	2.458	2.633
DEMANDA PICO EN EL TRAMO ZARAGOZA - BARCELONA							902	1.246	1.539	1.677	1.827	1.991	2.169	2.324
DISTANCIAS														
LONGITUD TRAMO MAD-ZGZ		307 km					306,70	306,70	306,70	306,70	306,70	306,70	306,70	306,70
LONGITUD TRAMO MAD-BCN		621 km					620,90	620,90	620,90	620,90	620,90	620,90	620,90	620,90
LONGITUD TRAMO ZGZ-BCN		314 km					314,20	314,20	314,20	314,20	314,20	314,20	314,20	314,20
TIEMPOS DE VIAJE														
DURACIÓN VIAJE MAD-ZGZ		80 min					80	80	80	80	80	80	80	80
DURACIÓN VIAJE MAD-BCN		150 min					150	150	150	150	150	150	150	150
DURACIÓN VIAJE ZGZ-BCN		85 min					85	85	85	85	85	85	85	85
CAPACIDAD														
NUMERO MÁXIMO DE TRENES POR COMPOSICIÓN		2					2	2	2	2	2	2	2	2
NUMERO DE VIAJEROS POR TREN		400					400	400	400	400	400	400	400	400
APROVECHAMIENTO MEDIO DE LOS TRENES (viajeros-km/plazas-km)		66%					66%	66%	66%	66%	66%	66%	66%	66%
TIEMPO MÍNIMO ENTRE COMPOSICIONES		2,50 min					2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50

NUMERO DE SERVICIOS O EXPEDICIONES i+v																		
NÚMERO DE TRENES MAD-ZGZ											6.422	4.434	5.269	5.742	6.257	6.818	7.430	7.958
NÚMERO DE TRENES MAD-BCN											7.948	11.565	14.201	15.474	16.862	18.373	20.021	21.445
NÚMERO DE TRENES ZGZ-BCN											2.124	2.349	2.983	3.251	3.542	3.860	4.207	4.507
TRENES EN SERVICIO																		
TRENES NECESARIOS PARA SERVICIO EN HORA PUNTA											23	28	34	37	41	44	48	52
TRENES NECESARIOS PARA ESPERA LAS ESTACIONES EN HORA PUNTA		2									2	2	2	2	2	2	2	2
TRENES EN PARADA DE MANTENIMIENTO		5%									2	2	2	2	3	3	3	3
NÚMERO DE TRENES											27	32	38	41	46	49	53	57
NUEVOS TRENES A ADQUIRIR			5,40	5,40	5,40	5,40	5,40				3	3	1	1	0	1	1	1
PRODUCCIÓN TRENES-KILÓMETRO ANUALES											7.571.832	9.279.018	11.370.542	12.390.418	13.501.433	14.711.545	16.031.495	17.171.962
ENERGÍA CONSUMIDA POR CADA SERVICIO i+v																		
KWH CONSUMIDOS EN SERVICIOS MAD-ZGZ		5.494 Kwh									35.277.637	24.359.945	28.945.541	31.544.597	34.375.417	37.454.553	40.815.117	43.720.431
KWH CONSUMIDOS EN SERVICIOS MAD-BCN		11.122 Kwh									88.392.697	128.626.037	157.933.872	172.093.460	187.526.574	204.333.754	222.665.813	238.501.092
KWH CONSUMIDOS EN SERVICIOS ZGZ-BCN		5.628 Kwh									11.956.321	13.219.790	16.789.727	18.299.106	19.935.681	21.724.889	23.675.211	25.362.663
PRECIOS UNITARIOS / PARTIDAS ALZADAS VINCULADOS A INGRESO OPERATIVO																		
VINCULADOS A DEMANDA POR SERVICIOS i o v																		
PRECIO UNITARIO TRAYECTO EN SERVICIOS MAD-ZGZ											33,65	29,72	29,12	31,21	33,64	36,26	39,08	41,49
PRECIO UNITARIO TRAYECTO EN SERVICIOS MAD-BCN											68,06	60,11	58,90	63,13	68,05	73,34	79,05	83,93
PRECIO UNITARIO TRAYECTO EN SERVICIOS ZGZ-BCN											34,41	30,40	29,78	31,92	34,41	37,08	39,97	42,44
POR PUBLICIDAD																		
EN LA ESTACION DE MADRID		2.155.667 €/año									2.521.958	2.822.092	2.881.580	3.088.880	3.329.241	3.588.305	3.867.528	4.106.471
EN LA ESTACION DE ZARAGOZA		587.909 €/año									687.807	769.661	785.885	842.422	907.975	978.629	1.054.780	1.119.947
EN LA ESTACION DE BARCELONA		1.175.818 €/año									1.375.614	1.539.323	1.571.771	1.684.844	1.815.950	1.957.257	2.109.561	2.239.893
PRECIO UNITARIO PUBLICIDAD TRAYECTO EN SERVICIOS MAD-ZAG		54,0 €/tr.									63,18	70,69	72,18	77,38	83,40	89,89	96,88	102,87
PRECIO UNITARIO PUBLICIDAD TRAYECTO EN SERVICIOS MAD-BCN		135,32 €/tr.									158,32	177,16	180,89	193,91	209,00	225,26	242,79	257,79
PRECIO UNITARIO PUBLICIDAD TRAYECTO EN SERVICIOS ZAG-BCN		18,30 €/tr.									21,41	23,96	24,47	26,23	28,27	30,47	32,84	34,87
POR CANON DE EXPLOTACION DE ZONAS COMERCIALES Y APARCAMIENTOS POR EMPRESAS CONCESIONARIAS																		
EN LA ESTACION DE MADRID		11.109.976 €/año									12.997.786	14.544.629	14.851.220	15.919.614	17.158.395	18.493.572	19.932.645	21.164.122
EN LA ESTACION DE ZARAGOZA		3.029.994 €/año									3.544.851	3.966.717	4.050.333	4.341.713	4.679.562	5.043.701	5.436.176	5.772.033
EN LA ESTACION DE BARCELONA		6.059.987 €/año									7.089.701	7.933.434	8.100.665	8.683.426	9.359.125	10.087.403	10.872.352	11.544.066
POR CANON DE LAS LÍNEAS DE FIBRA ÓPTICA																		
EN EL TRAMO EN SERVICIOS MAD-ZGZ		1.117.850 €/año									1.307.796	1.463.434	1.494.282	1.601.781	1.726.423	1.860.764	2.005.559	2.129.466
EN EL TRAMO EN SERVICIOS ZGZ-BCN		1.143.339 €/año									1.337.615	1.496.802	1.528.354	1.638.303	1.765.788	1.903.192	2.051.289	2.178.021

PRECIOS UNITARIOS / PARTIDAS ALZADAS VINCULADOS A GASTO OPERATIVO															
VINCULADOS A MANTENIMIENTO DE ESTACIONES															
MANTENIMIENTO ESTACION DE MADRID		1.650.000 €/año					1.930.368	2.160.098	2.205.631	2.364.304	2.548.282	2.746.576	2.960.300	3.143.193	
MANTENIMIENTO ESTACION DE ZARAGOZA		550.000 €/año					643.456	720.033	735.210	788.101	849.427	915.525	986.767	1.047.731	
MANTENIMIENTO ESTACION DE BARCELONA		1.100.000 €/año					1.286.912	1.440.065	1.470.421	1.576.203	1.698.855	1.831.051	1.973.533	2.095.462	
VINCULADOS A MANTENIMIENTO DE INFRA Y SUPERESTRUCTURA															
PRECIO UNITARIO MANTENIMIENTO DE INFRA Y SUPERESTRUCTURA		79.732,85 €/km					93.281,07	104.382,28	106.582,59	114.250,12	123.140,47	132.722,62	143.050,41	151.888,33	
VINCULADOS A MANTENIMIENTO DL MATERIAL MOVIL															
PRECIO UNITARIO MANTENIMIENTO DEL MATERIAL AUXILIAR		0,55 €/tren-km					0,643	0,720	0,735	0,788	0,849	0,916	0,987	1,048	
PRECIO UNITARIO MANTENIMIENTO DE LOS TRENES POR TREN-KM		4,00 €/tren-km					4,680	5,237	5,347	5,732	6,178	6,658	7,176	7,620	
VINCULADOS AL CONSUMO ELÉCTRICO															
PRECIO DEL KWHORA		0,082 €/kWh					0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	
RR.HH.															
PERSONAL EN LOS TRENES (conductores y acompañantes)		0,60 €/tren-km					0,70	0,68	0,72	0,79	0,86	0,94	1,02	1,10	
PERSONAL EN LAS ESTACIONES		3.850.000 €/año					4.504.192,78	4.360.517,69	4.646.301,41	5.066.138,14	5.523.856,76	6.022.929,63	6.567.093,05	7.037.614,51	
PERSONAL DE ESTRUCTURA (rec. con producc y coste inicial)	4,20%	10.000.000 €/año					11.699.202,04	13.215.473,64	13.649.128,46	14.712.105,73	15.952.102,13	17.305.144,63	18.783.099,16	20.064.063,05	
SEGUROS Y SERVICIOS EXTERIORES															
SEGUROS DE MATERIAL MOVIL		16.284,54 €/tren					19.051,62	21.318,91	21.768,30	23.334,31	25.150,06	27.107,11	29.216,45	31.021,49	
SERVICIOS A LA VENTA (comisiones, seguros, catering, etc.)		8,00% sobre ingresos					8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	
SERVICIOS EN LOS TALLERES (rec. con inv. talleres y coste inicial)	50,00%	2.804.664,66 €					3.473.172,94	3.912.069,76	3.832.652,30	4.114.813,77	4.331.561,40	4.798.143,39	5.182.372,95	5.512.420,00	
SERVICIOS EN OFICINAS Y ESTACIONES (limpieza, energía, etc.)		2.873.977,39 €					3.362.324,22	3.762.468,38	3.841.778,68	4.118.155,50	4.438.608,91	4.783.980,33	5.156.264,15	5.474.827,87	
INVERSIONES															
CONSTRUCCIÓN INFRAESTRUCTURA		7.664.380.000 €	1.532.876.000	1.580.425.814	1.628.676.214	1.683.758.043	1.743.750.342								
REMODELACIÓN DE ESTACIONES		455.850.000 €	91.170.000	93.998.093	96.867.855	100.143.926	103.712.054								
TRENES (plazo de reposición y coste unitario)	40 años	25.814.100 €/ud	139.396.140	143.720.208	148.107.986	153.116.998	158.572.557	90.601.311,38	101.383.610,59	34.506.903,00	36.989.322,92	0,00	42.969.931,31	46.313.627,50	49.174.970,66
MATERIAL AUXILIAR (plazo de reposición y coste total)	40 años	45.467.802 €	9.093.560	9.375.643	9.661.881	9.988.646	10.344.541	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TALLERES Y BASES DE MANTENIMIENTO (rec. con nº trenes y coste inicial)	90%	93.156.876 €	18.631.375	19.209.320	19.795.781	20.465.274	21.194.452	10.898.611,15	12.195.635,28	4.150.903,69	4.449.518,90	0,00	5.168.938,13	5.571.157,96	5.915.354,60

Fuente: Elaboración propia

15.3 Tabla de Ingresos-Gastos Hyperloop

Tabla 78. Modelo Económico. Ingresos-Gastos. Hyperloop

CONCEPTO	FASE INVERSION INTENSIVA					FASE DE EXPLOTACION COMERCIAL								
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2013	2018	2023	2028	2033	2038	2042	2043
FLUJO ANUAL DE INGRESOS DE EXPLOTACION	0	0	0	0	0	200.548.225	216.670.286	249.259.165	284.262.604	326.442.171	375.403.951	432.286.386	484.383.961	0
VINCULADOS A DEMANDA POR SERVICIOS	0	0	0	0	0	135.346.885	143.794.266	174.332.794	203.625.859	239.154.469	280.882.107	329.890.377	375.185.552	0
INGRESOS POR SERVICIOS MAD-ZGZ	0	0	0	0	0	20.546.057	15.825.945	19.207.292	22.434.684	26.349.085	30.946.470	36.346.005	41.336.447	0
INGRESOS POR SERVICIOS MAD-BCN	0	0	0	0	0	108.023.790	119.582.866	144.250.637	168.489.010	197.886.948	232.414.235	272.965.837	310.445.061	0
INGRESOS POR SERVICIOS ZGZ-BCN	0	0	0	0	0	6.777.038	8.385.455	10.874.865	12.702.164	14.918.436	17.521.403	20.578.535	23.404.044	0
POR PUBLICIDAD	0	0	0	0	0	10.365.800	11.514.600	12.271.492	13.474.488	14.899.228	16.500.475	18.303.424	19.910.426	0
EN LA ESTACION DE MADRID	0	0	0	0	0	4.339.605	4.856.053	4.958.415	5.315.123	5.728.718	6.174.497	6.654.964	7.066.120	0
EN LA ESTACION DE ZARAGOZA	0	0	0	0	0	740.330	828.435	845.898	906.752	977.310	1.053.359	1.135.326	1.205.469	0
EN LA ESTACION DE BARCELONA	0	0	0	0	0	2.743.789	3.070.323	3.135.043	3.360.577	3.622.080	3.903.931	4.207.715	4.467.676	0
INGRESOS POR SERVICIOS MAD-ZAG	0	0	0	0	0	168.518	129.804	157.537	184.007	216.113	253.820	298.107	339.039	0
INGRESOS POR SERVICIOS MAD-BCN	0	0	0	0	0	2.354.820	2.606.799	3.144.529	3.672.907	4.313.755	5.066.420	5.950.411	6.767.409	0
INGRESOS POR SERVICIOS ZAG-BCN	0	0	0	0	0	18.739	23.187	30.070	35.122	41.251	48.448	56.900	64.713	0
POR CANON DE EXPLOTACION DE ZONAS COMERCIALES POR EMPRESAS	0	0	0	0	0	52.190.130	58.401.184	59.632.241	63.922.173	68.896.264	74.257.412	80.035.737	84.960.495	0
EN LA ESTACION DE MADRID	0	0	0	0	0	28.954.538	32.400.366	33.083.344	35.463.353	38.222.926	41.197.235	44.402.989	47.146.290	0
EN LA ESTACION DE ZARAGOZA	0	0	0	0	0	4.866.191	5.445.308	5.560.091	5.960.083	6.423.866	6.923.737	7.462.507	7.923.554	0
EN LA ESTACION DE BARCELONA	0	0	0	0	0	18.369.401	20.555.510	20.988.807	22.498.737	24.249.472	26.136.439	28.170.241	29.910.651	0
POR CANON DE LAS LÍNEAS DE FIBRA ÓPTICA	0	0	0	0	0	2.645.411	2.960.237	3.022.636	3.240.084	3.492.211	3.763.956	4.056.848	4.307.487	0
EN EL TRAMO EN SERVICIOS MAD-ZGZ	0	0	0	0	0	1.307.796	1.463.434	1.494.282	1.601.781	1.726.423	1.860.764	2.005.559	2.129.466	0
EN EL TRAMO EN SERVICIOS ZGZ-BCN	0	0	0	0	0	1.337.615	1.496.802	1.528.354	1.638.303	1.765.788	1.903.192	2.051.289	2.178.021	0
FLUJO ANUAL DE GASTOS DE EXPLOTACION	0	0	0	0	0	131.166.682	141.954.138	154.574.936	171.468.332	191.440.558	214.135.544	239.902.789	263.101.450	0
VINCULADOS A MANTENIMIENTO DE ESTACIONES	0	0	0	0	0	7.721.473	8.640.392	8.822.526	9.457.216	10.193.128	10.986.304	11.841.201	12.572.772	0
MANTENIMIENTO ESTACION DE MADRID	0	0	0	0	0	3.860.737	4.320.196	4.411.263	4.728.608	5.096.564	5.493.152	5.920.600	6.286.386	0
MANTENIMIENTO ESTACION DE ZARAGOZA	0	0	0	0	0	1.286.912	1.440.065	1.470.421	1.576.203	1.698.855	1.831.051	1.973.533	2.095.462	0
MANTENIMIENTO ESTACION DE BARCELONA	0	0	0	0	0	2.573.824	2.880.131	2.940.842	3.152.405	3.397.709	3.662.101	3.947.067	4.190.924	0
VINCULADOS A MANTENIMIENTO DE INFRA Y SUPERESTRUCTURA	0	0	0	0	0	45.112.065	50.480.770	51.544.871	55.252.999	59.552.500	64.186.565	69.181.229	73.455.376	0
MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA	0	0	0	0	0	45.112.065	50.480.770	51.544.871	55.252.999	59.552.500	64.186.565	69.181.229	73.455.376	0
VINCULADOS A MANTENIMIENTO DEL MATERIAL MOVIL	0	0	0	0	0	33.117.629	35.203.844	42.682.049	49.853.921	58.552.463	68.768.630	80.767.380	91.856.910	0
MANTENIMIENTO DEL MATERIAL AUXILIAR	0	0	0	0	0	3.957.453	4.206.749	5.100.371	5.957.387	6.996.835	8.217.635	9.651.448	10.976.612	0
MANTENIMIENTO DE LAS VAINAS	0	0	0	0	0	29.160.176	30.997.095	37.581.678	43.896.534	51.555.627	60.550.995	71.115.932	80.880.298	0
VINCULADOS AL CONSUMO ELÉCTRICO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CONSUMO ELÉCTRICO EN SERVICIOS MAD-ZAG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CONSUMO ELÉCTRICO EN SERVICIOS MAD-BCN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CONSUMO ELÉCTRICO EN SERVICIOS ZAG-BCN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

RR.HH.	0	0	0	0	0	28.195.077	29.137.945	30.537.887	33.099.375	35.973.444	39.104.497	42.516.659	45.466.548	0
PERSONAL EN LAS VAINAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PERSONAL EN LAS ESTACIONES	0	0	0	0	0	15.793.923	15.290.127	16.292.226	17.764.380	19.369.368	21.119.364	23.027.469	24.677.350	0
PERSONAL DE ESTRUCTURA	0	0	0	0	0	12.401.154	13.847.818	14.245.662	15.334.994	16.604.076	17.985.134	19.489.190	20.789.198	0
SEGUROS Y SERVICIOS EXTERIORES	0	0	0	0	0	17.020.438	18.491.186	20.987.603	23.804.821	27.169.024	31.089.548	35.596.320	39.749.844	0
SEGUROS DE MATERIAL MÓVIL	0	0	0	0	0	225.864	252.743	280.709	325.169	380.114	443.520	518.544	584.992	0
SERVICIOS A LA VENTA (comisiones, seguros, etc.)	0	0	0	0	0	10.151.016	10.784.570	13.074.960	15.271.939	17.936.585	21.066.158	24.741.778	28.138.916	0
SERVICIOS EN LOS TALLERES	0	0	0	0	0	3.281.234	3.691.405	3.790.156	4.089.557	4.413.716	4.795.871	5.179.733	5.551.108	0
SERVICIOS EN OFICINAS Y ESTACIONES (limpieza, energía, etc.)	0	0	0	0	0	3.362.324	3.762.468	3.841.779	4.118.155	4.438.609	4.783.998	5.156.264	5.474.828	0
FLUJO ANUAL DE INVERSIONES	1.229.400.442	1.267.536.443	1.306.234.331	1.350.411.176	1.398.526.326	0	2.090.966	4.270.084	6.865.909	95.796.900	10.634.695	13.112.824	20.470.693	15.912.227
CONSTRUCCIÓN INFRAESTRUCTURA	1.039.600.000	1.071.848.392	1.104.571.923	1.141.928.546	1.182.615.460	0	0	0	0	0	0	0	0	0
REMODELACIÓN DE ESTACIONES	109.404.000	112.797.712	116.241.426	120.172.711	124.454.465	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VAINA	31.464.000	32.440.013	33.430.407	34.561.023	35.792.433	0	1.204.418	2.459.613	3.954.836	52.856.001	6.125.697	8.252.958	14.020.546	10.674.192
MATERIAL AUXILIAR	25.772.442	26.571.903	27.383.143	28.309.241	29.317.899	0	0	0	0	39.803.302	0	0	0	0
TALLERES Y BASES DE MANTENIMIENTO	23.160.000	23.878.423	24.607.431	25.439.655	26.346.070	0	886.547	1.810.470	2.911.073	3.137.598	4.508.999	4.859.866	6.450.146	5.238.035
INGRESOS NETOS DEL PROYECTO	-1.229.400.442	-1.267.536.443	-1.306.234.331	-1.350.411.176	-1.398.526.326	69.381.543	72.625.183	90.414.145	105.928.363	39.204.713	150.633.711	179.270.773	200.811.818	-15.912.227
FLUJO ANUAL DE INGRESOS DE EXPLOTACION	0	0	0	0	0	200.548.225	216.670.286	249.258.165	284.262.604	326.442.171	375.403.951	432.286.386	484.383.961	0
FLUJO ANUAL DE GASTOS DE EXPLOTACION	0	0	0	0	0	-131.166.682	-141.954.138	-154.574.936	-171.468.332	-191.440.558	-214.135.544	-239.902.789	-263.101.450	0
FLUJO ANUAL DE INVERSIONES	-1.229.400.442	-1.267.536.443	-1.306.234.331	-1.350.411.176	-1.398.526.326	0	-2.090.966	-4.270.084	-6.865.909	-95.796.900	-10.634.695	-13.112.824	-20.470.693	-15.912.227

Fuente: Elaboración propia

15.4 Tabla de Ingresos-Gastos AVE

Tabla 79. Modelo Económico. Ingresos-Gastos. AVE

CONCEPTO	FASE INVERSION INTENSIVA					FASE DE EXPLOTACION COMERCIAL								
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2013	2018	2023	2028	2033	2038	2042	
FLUJO ANUAL DE INGRESOS DE EXPLOTACION	0	0	0	0	0	266.834.144	290.989.224	340.498.300	392.797.883	456.033.787	529.890.445	616.189.600	695.610.771	
VINCULADOS A DEMANDA POR SERVICIOS	0	0	0	0	0	220.364.317	238.483.326	286.333.142	334.445.576	392.799.593	461.335.210	541.828.911	616.224.035	
INGRESOS POR SERVICIOS MAD-ZGZ	0	0	0	0	0	57.351.080	34.972.890	40.727.435	47.570.849	55.871.004	65.619.368	77.068.626	87.650.435	
INGRESOS POR SERVICIOS MAD-BCN	0	0	0	0	0	143.606.096	184.557.357	222.020.695	259.326.736	304.574.028	357.716.061	420.130.309	477.815.762	
INGRESOS POR SERVICIOS ZGZ-BCN	0	0	0	0	0	19.407.141	18.953.079	23.585.012	27.547.991	32.354.561	37.999.780	44.629.976	50.757.838	
POR PUBLICIDAD	0	0	0	0	0	6.294.852	7.549.773	8.261.388	9.146.229	10.199.155	11.393.286	12.750.694	13.970.360	
EN LA ESTACION DE MADRID	0	0	0	0	0	2.521.958	2.822.092	2.881.580	3.088.880	3.329.241	3.588.305	3.867.528	4.106.471	
EN LA ESTACION DE ZARAGOZA	0	0	0	0	0	687.807	769.661	785.885	842.422	907.975	978.629	1.054.780	1.119.947	
EN LA ESTACION DE BARCELONA	0	0	0	0	0	1.375.614	1.539.323	1.571.771	1.684.844	1.815.950	1.957.257	2.109.561	2.239.893	
INGRESOS POR SERVICIOS MAD-ZAG	0	0	0	0	0	405.685	313.472	380.333	444.301	521.849	612.838	719.790	818.662	
INGRESOS POR SERVICIOS MAD-BCN	0	0	0	0	0	1.258.299	2.048.941	2.568.830	3.000.509	3.524.013	4.138.652	4.860.898	5.528.262	
INGRESOS POR SERVICIOS ZAG-BCN	0	0	0	0	0	45.490	56.283	72.988	85.273	100.128	117.605	138.136	157.124	
POR CANON DE EXPLOTACION DE ZONAS COMERCIALES POR EMPRESAS	0	0	0	0	0	23.632.338	26.444.780	27.002.218	28.944.752	31.197.082	33.624.676	36.241.174	38.480.221	
EN LA ESTACION DE MADRID	0	0	0	0	0	12.997.786	14.544.629	14.851.220	15.919.614	17.158.395	18.493.572	19.932.645	21.164.122	
EN LA ESTACION DE ZARAGOZA	0	0	0	0	0	3.544.851	3.966.717	4.050.333	4.341.713	4.679.562	5.043.701	5.436.176	5.772.033	
EN LA ESTACION DE BARCELONA	0	0	0	0	0	7.089.701	7.933.434	8.100.665	8.683.426	9.359.125	10.087.403	10.872.352	11.544.066	
POR CANON DE LAS LÍNEAS DE FIBRA ÓPTICA	0	0	0	0	0	16.542.636	18.511.346	18.901.552	20.261.327	21.837.957	23.537.273	25.368.821	26.936.155	
EN EL TRAMO EN SERVICIOS MAD-ZGZ	0	0	0	0	0	12.997.786	14.544.629	14.851.220	15.919.614	17.158.395	18.493.572	19.932.645	21.164.122	
EN EL TRAMO EN SERVICIOS ZGZ-BCN	0	0	0	0	0	3.544.851	3.966.717	4.050.333	4.341.713	4.679.562	5.043.701	5.436.176	5.772.033	
FLUJO ANUAL DE GASTOS DE EXPLOTACION	0	0	0	0	0	154.834.865	186.045.712	211.121.556	237.652.556	269.315.861	305.929.014	348.030.306	386.343.964	
VINCULADOS A MANTENIMIENTO DE ESTACIONES	0	0	0	0	0	3.860.737	4.320.196	4.411.263	4.728.608	5.096.564	5.493.152	5.920.600	6.286.386	
MANTENIMIENTO ESTACION DE MADRID	0	0	0	0	0	1.930.368	2.160.098	2.205.631	2.364.304	2.548.282	2.746.576	2.960.300	3.143.193	
MANTENIMIENTO ESTACION DE ZARAGOZA	0	0	0	0	0	643.456	720.033	735.210	788.101	849.427	915.525	986.767	1.047.731	
MANTENIMIENTO ESTACION DE BARCELONA	0	0	0	0	0	1.286.912	1.440.065	1.470.421	1.576.203	1.698.855	1.831.051	1.973.533	2.095.462	
VINCULADOS A MANTENIMIENTO DE INFRA Y SUPERESTRUCTURA	0	0	0	0	0	57.918.218	64.810.961	66.177.132	70.937.902	76.457.920	82.407.477	88.819.998	94.307.465	
MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA	0	0	0	0	0	57.918.218	64.810.961	66.177.132	70.937.902	76.457.920	82.407.477	88.819.998	94.307.465	
VINCULADOS A MANTENIMIENTO DEL MATERIAL MOVIL	0	0	0	0	0	40.305.899	55.271.714	69.157.859	80.782.398	94.875.658	111.423.644	130.869.136	148.839.582	
MANTENIMIENTO DEL MATERIAL AUXILIAR	0	0	0	0	0	4.872.142	6.681.196	8.359.741	9.764.905	11.468.486	13.468.792	15.819.346	17.991.598	
MANTENIMIENTO DE LOS TRENES	0	0	0	0	0	35.433.757	48.590.517	60.798.118	71.017.493	83.407.172	97.954.852	115.049.789	130.847.984	
VINCULADOS AL CONSUMO ELÉCTRICO	0	0	0	0	0	13.053.912	17.900.906	22.398.225	26.163.077	30.727.475	36.086.888	42.384.719	48.204.825	
CONSUMO ELÉCTRICO EN SERVICIOS MAD-ZAG	0	0	0	0	0	3.395.433	2.623.646	3.183.245	3.718.637	4.367.681	5.129.224	6.024.378	6.851.899	
CONSUMO ELÉCTRICO EN SERVICIOS MAD-BCN	0	0	0	0	0	8.507.697	13.853.445	17.368.554	20.287.248	23.826.801	27.982.543	32.865.840	37.378.071	
CONSUMO ELÉCTRICO EN SERVICIOS ZAG-BCN	0	0	0	0	0	1.150.782	1.423.815	1.846.426	2.157.191	2.532.993	2.975.121	3.494.500	3.974.856	

RR.HH.	0	0	0	0	0	21.518.458	23.881.652	26.528.827	29.560.826	33.098.813	37.136.895	41.757.515	45.935.389
PERSONAL EN LOS TRENES	0	0	0	0	0	5.315.064	6.305.661	8.233.397	9.782.582	11.622.854	13.808.821	16.407.323	18.833.712
PERSONAL EN LAS ESTACIONES	0	0	0	0	0	4.504.193	4.360.518	4.646.301	5.066.138	5.523.857	6.022.930	6.567.093	7.037.615
PERSONAL DE ESTRUCTURA	0	0	0	0	0	11.699.202	13.215.474	13.649.128	14.712.106	15.952.102	17.305.145	18.783.099	20.064.063
SEGUROS Y SERVICIOS EXTERIORES	0	0	0	0	0	18.177.642	19.860.285	22.448.250	25.479.745	29.059.431	33.380.959	38.278.339	42.770.317
SEGUROS DE MATERIAL MÓVIL	0	0	0	0	0	514.394	682.205	827.196	966.707	1.156.903	1.328.248	1.548.472	1.768.225
SERVICIOS A LA VENTA (comisiones, seguros, catering etc.)	0	0	0	0	0	10.827.751	11.503.541	13.946.624	16.290.069	19.132.358	22.470.569	26.391.230	30.014.844
SERVICIOS EN LOS TALLERES	0	0	0	0	0	3.473.173	3.912.070	3.832.652	4.114.814	4.331.561	4.798.143	5.182.373	5.512.420
SERVICIOS EN OFICINAS Y ESTACIONES (limpieza, energía, etc.)	0	0	0	0	0	3.362.324	3.762.468	3.841.779	4.118.155	4.438.609	4.783.998	5.156.264	5.474.828
FLUJO ANUAL DE INVERSIONES	1.791.167.076	1.846.729.078	1.903.109.717	1.967.472.888	2.037.573.947	101.499.923	113.579.246	38.657.807	41.438.842	0	48.138.869	51.884.785	55.090.325
CONSTRUCCIÓN INFRAESTRUCTURA	1.532.876.000	1.580.425.814	1.628.676.214	1.683.758.043	1.743.750.342	0	0	0	0	0	0	0	0
REMODELACIÓN DE ESTACIONES	91.170.000	93.998.093	96.867.855	100.143.926	103.712.054	0	0	0	0	0	0	0	0
TRENES	139.396.140	143.720.208	148.107.986	153.116.998	158.572.557	90.601.311	101.383.611	34.506.903	36.989.323	0	42.969.931	46.313.628	49.174.971
MATERIAL AUXILIAR	9.093.560	9.375.643	9.661.881	9.988.646	10.344.541	0	0	0	0	0	0	0	0
TALLERES Y BASES DE MANTENIMIENTO	18.631.375	19.209.320	19.795.781	20.465.274	21.194.452	10.898.611	12.195.635	4.150.904	4.449.519	0	5.168.938	5.571.158	5.915.355
INGRESOS NETOS DEL PROYECTO	-1.791.167.076	-1.846.729.078	-1.903.109.717	-1.967.472.888	-2.037.573.947	10.499.357	-8.635.734	90.718.937	113.706.486	186.717.926	175.822.561	216.274.508	254.176.482
FLUJO ANUAL DE INGRESOS DE EXPLOTACION	0	0	0	0	0	266.834.144	290.989.224	340.498.300	392.797.883	456.033.787	529.890.445	616.189.600	695.610.771
FLUJO ANUAL DE GASTOS DE EXPLOTACION	0	0	0	0	0	-154.834.865	-186.045.712	-211.121.556	-237.652.556	-269.315.861	-305.929.014	-348.030.306	-386.343.964
FLUJO ANUAL DE INVERSIONES	-1.791.167.076	-1.846.729.078	-1.903.109.717	-1.967.472.888	-2.037.573.947	-101.499.923	-113.579.246	-38.657.807	-41.438.842	0	-48.138.869	-51.884.785	-55.090.325

Fuente: Elaboración propia