



Universidad  
Europea

Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona.  
Ampliación del túnel "La Romera" para el paso de material rodante compatible.  
Marcos Rodríguez Serrano

ue



2020

# TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

## Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona. Ampliación del túnel "La Romera" para el paso de material rodante compatible.

**Marcos Rodríguez Serrano**

Madrid, 2020



Universidad  
Europea



# TRABAJO FIN DE MÁSTER

## **Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona. Ampliación del túnel “La Romera” para el paso de material rodante compatible.**

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

**Marcos Rodríguez Serrano**

Dirigido por:

D. Juan Carlos Guerra Torralbo

Dra. Dña. María José Cano Adán

Dra. Dña. Oliva González González

Madrid, 2020



# AGRADECIMIENTOS

Antes de comenzar a profundizar en el contenido del TFM, quería dejar este espacio de agradecimientos para expresar mi gratitud a las personas o entidades que han dedicado su tiempo a lo largo de esta etapa para apoyarme y ofrecerme su ayuda en lo que hiciese falta.

En primer lugar, dar las gracias a Adif, en especial a Luis Esteras y María José Cano, por ayudarme a elegir este maravilloso tema de las Autopistas Ferroviarias del que he tenido la oportunidad de aprender y profundizar en él cada día. Gracias por aportarme toda la información tan actualizada que he ido necesitando para desarrollar este TFM. Documentación y archivos que sin ellos no podía haber llegado a este nivel de detalle, incluso en los momentos tan difíciles de acceso a la información que hemos sufrido con la crisis sanitaria. Y también, estoy muy agradecido por el tiempo que habéis sacado entre una reunión y otra para responder a mis inquietudes y dudas a lo largo del desarrollo de este TFM.

Pero, sobre todo, dar las gracias a Juan Carlos Guerra, Oliva González y María José Cano, los tres tutores que han sido un gran apoyo y una guía para mí. Me habéis enseñado mucho, cada uno desde vuestro punto de vista y desde vuestra experiencia. Le habéis dedicado mucho tiempo, siempre con la pasión que me habéis transmitido desde que nos conocemos. A pesar de las dificultades que hemos tenido este curso, siempre habéis estado ahí. Y no solo para el desarrollo de este TFM. Desde que comencé mi formación con vosotros, hace ya varios años, habéis sido una fuente de información y de experiencia increíble para mí. Han sido muchas horas juntos, trabajos, viajes, experiencias formativas, mentorías "TOP" y creo que este TFM ha sido una oportunidad para mostrar todo esto. Muchas gracias por todo.

Estos agradecimientos no son solo para ellos tres. Son para todos los profesores que, desde que comencé mi formación con vosotros, me habéis aportado una visión sobre la ingeniería tan transversal e importante para nuestra generación. Siempre habéis estado innovando y nos habéis contado lo que os ocurría día a día en vuestros trabajos de ingeniería. Creo que no hay mejor formación que esa.

Dar las gracias también a mi compañero de trabajo Andrés García Amor por sacar tanto tiempo para enseñarme las experiencias que ha recogido sobre la ampliación de túneles. Es una oportunidad excepcional poder contar con una persona que ha trabajado en la única referencia española de túneles con la máquina TES de ampliación de gálibos, tan innovadora en el sector. Todo lo que me contaste y me aportaste fue increíble.

Y, por último, dar las gracias a mi familia y a mi pareja por el apoyo que me han dado siempre a mi formación, por aguantar todas las horas que he dedicado a este TFM y he tenido que estar ausente. En especial, darle las gracias a mi hermano Adrián y a mis padres por enseñarme todo lo que saben de esta bonita profesión e ir siempre un paso por delante de mí. Gracias por haberme apoyado y apostado tanto por mi formación.



# RESUMEN

En los últimos años de la planificación de infraestructuras se está desarrollando un nuevo enfoque del transporte, siguiendo las directrices europeas, más orientado a la sostenibilidad, a una mejor conexión internacional, y al impulso del ferrocarril como modo de transporte (tanto de personas como de mercancías) más alineado con los objetivos buscados por la Unión Europea. Con ello se pretende desarrollar una comunidad más descarbonizada que consiga el trasvase modal (de un modo de transporte menos sostenible) al ferrocarril, garantizando un sistema de transporte hacia la neutralidad carbónica.

En este Trabajo Fin de Máster (TFM) se analiza el pasado, el presente y el futuro de la **planificación del transporte**, tratando de explicar y enunciar los objetivos perseguidos por Europa, así como los esfuerzos realizados por la comunidad para lograr esto dentro de un marco temporal, tanto antes como después de la crisis sanitaria mundial en la que se ha visto inmersa Europa, capaz de sacar adelante un plan de recuperación teniendo la sostenibilidad como punto más importante para la reconstrucción económica y social.

Dentro de este desarrollo, el Parlamento Europeo estableció una serie de corredores europeos de mercancías para aumentar la competitividad del ferrocarril frente a otros modos de transporte, constituyendo así la espina dorsal de la Red Transeuropea de Transporte. La línea convencional de ferrocarril Madrid-Zaragoza-Barcelona, dentro del Corredor Mediterráneo, y con la baja saturación que presenta tras la construcción de la línea de alta velocidad, presenta una oportunidad única para ofrecer un servicio de **Autopista Ferroviaria** que conecte los flujos de mercancías más importantes del territorio, con origen o destino en países de la Unión Europea, y persiga los objetivos marcados por Europa, tal y como anunciaba el Gobierno de España y Adif en los primeros meses del año 2020 sobre el proyecto estratégico y prioritario de la Autopista Ferroviaria Puerto de Algeciras-Madrid-Zaragoza Plaza.

Siguiendo esta idea, en este TFM se explica la oportunidad real de desarrollo y se analiza la demanda de mercancías que captaría este servicio de Autopista Ferroviaria en función de diferentes casuísticas y, por lo tanto, el trasvase modal efectuado, para conseguir los objetivos perseguidos. Además, se estudia la rentabilidad que ofrece el proyecto en función del establecimiento de diferentes tarifas ferroviarias, así como las necesidades de financiación para poder llevar a cabo las inversiones de potenciación.

Por último, teniendo en cuenta que el establecimiento de un servicio de estas características en un corredor ferroviario existente comprende la adecuación de dicha línea en términos como la adaptación de gálibos, dada la limitación geométrica, en este TFM se estudia y se plantea una solución para la **ampliación del túnel de “La Romera”** (del año 1864) para el paso de material rodante compatible, utilizando tecnología y metodologías novedosas en el campo de la ingeniería civil como las nubes densas de puntos para estudiar el estado actual y, la metodología BIM a un nivel de detalle necesario para el diseño constructivo de todos los elementos, analizar su inversión y su planificación constructiva. Además, para la fase constructiva, se plantea la ejecución de la ampliación mediante un sistema mecanizado innovador en Europa con una máquina denominada TES (*Tunneling Enlargement System*) que permite ejecutar la obra sin afección al tráfico ferroviario, permitiendo circular por el interior de dicha máquina.



# ABSTRACT

In recent years of infrastructure planning, a new approach to transport is being developed, following European guidelines, more oriented to sustainability, to a better international connection, and to promoting the railway as a mode of transport (for both people and goods) more aligned with the objectives sought by the European Union. This aims to develop a more decarbonised community that achieves the modal transfer (from a less sustainable mode of transport) to the railway, guaranteeing a transport system towards carbon neutrality.

This Master's Dissertation (*TFM*) analyzes the past, present and future of transport planning, trying to explain and state the objectives pursued by Europe, as well as the efforts made by the community to achieve this within a time frame, both before and after the global health crisis in which Europe has been immersed, capable of carrying out a recovery plan considering sustainability as the most important point for both economic and social reconstruction.

Within this development, the European Parliament established a series of European corridors to increase the competitiveness of rail compared to other modes of transport, thus constituting the backbone of the Trans-European Transport Network. The conventional Madrid-Zaragoza-Barcelona railway line, within the Mediterranean Corridor, and with the low saturation that presents after the construction of the high-speed line, presents a unique opportunity to offer a Rail Motorway service that connects the most important flow of goods of the territory, with origin or destination in countries of the European Union, and pursues the objectives set by Europe, as announced by the Government of Spain and Adif in the first months of 2020 about the strategic and priority project of the Rail Motorway Puerto de Algeciras-Madrid-Zaragoza Plaza.

Following this idea, this *TFM* explains the real development opportunity and analyzes the demand for goods that would be captured by this Rail Motorway service based on different cases and, therefore, the modal transfer carried out, to achieve the objectives pursued. In addition, the profitability offered by the project is studied based on the establishment of different railway tariffs, as well as the financing requirements to carry out the empowerment investments.

Lastly, considering that the establishment of a service of these characteristics in an existing railway corridor includes the adaptation of this line in terms of the adaptation of gauges, given the geometric limitation, this *TFM* studies and proposes a solution for the expansion of the tunnel "La Romera" (from 1864) for the passage of compatible rolling stock, using innovative technology and methodologies in the field of civil engineering such as dense point clouds for the current situation and, the BIM methodology at a necessary level of detail for the constructive design of all the elements, to analyze the investment and the constructive planning. In addition, for the construction phase, the expansion is proposed by means of an innovative mechanized system in Europe with a machine called TES (Tunneling Enlargement System) which allows the work to be carried out without affecting railway traffic, allowing to circulate inside said machine.



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. OBJETO DEL TFM .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivos del TFM .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Motivación del trabajo .....</b>	<b>2</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....</b>	<b>3</b>
<b>3. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. La planificación ferroviaria en España .....</b>	<b>4</b>
3.1.1. <i>El ferrocarril en España .....</i>	<i>4</i>
3.1.1.1. <i>Red ferroviaria.....</i>	<i>4</i>
3.1.2. <i>La planificación ferroviaria en España .....</i>	<i>7</i>
3.1.3. <i>Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (PITVI) 2012 – 2024.....</i>	<i>12</i>
<b>3.2. Necesidades en el presente y futuro de la planificación del transporte europeo .....</b>	<b>14</b>
3.2.1. <i>Libro Blanco del Transporte.....</i>	<i>15</i>
3.2.2. <i>Mecanismo “Conectar Europa” .....</i>	<i>17</i>
3.2.3. <i>Seguridad en el transporte.....</i>	<i>18</i>
3.2.4. <i>Eficiencia energética .....</i>	<i>20</i>
3.2.5. <i>Reducción de impacto medioambiental .....</i>	<i>22</i>
3.2.6. <i>Intermodalidad o Transporte combinado.....</i>	<i>24</i>
3.2.7. <i>Interoperabilidad.....</i>	<i>26</i>
3.2.8. <i>Consecuencias de la COVID-19 en el ferrocarril.....</i>	<i>27</i>
3.2.9. <i>Cooperación internacional.....</i>	<i>32</i>
3.2.10. <i>Reto de la red de mercancías para hacerla más atractiva.....</i>	<i>32</i>
<b>3.3. Líneas de mercancías en España .....</b>	<b>34</b>
3.3.1. <i>Estrategia logística de España .....</i>	<i>34</i>
3.3.2. <i>Reparto modal.....</i>	<i>37</i>
3.3.2.1. <i>Operadores: liberalización de las mercancías .....</i>	<i>41</i>
<b>3.4. Las autopistas ferroviarias .....</b>	<b>42</b>

3.4.1. ¿Qué son?.....	42
3.4.2. Corredor Mediterráneo.....	43
3.4.3. Características de las autopistas ferroviarias.....	45
3.4.3.1. Tecnologías en autopistas ferroviarias.....	46
3.4.4. Autopistas ferroviarias en Europa.....	55
<b>3.5. Gálibos ferroviarios.....</b>	<b>57</b>
3.5.1. Normativa.....	58
3.5.2. Gálibo a implantar.....	59
3.5.2.1. Consultas a fabricantes y diseñadores de material móvil.....	63
3.5.2.2. Mapa gálibos red francesa.....	65
3.5.3. Captación gálibo con nubes de puntos.....	68
<b>4. AUTOPISTA FERROVIARIA MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA.....</b>	<b>73</b>
<b>4.1. La línea ferroviaria.....</b>	<b>73</b>
<b>4.2. Oportunidades de desarrollo.....</b>	<b>74</b>
<b>4.3. Estudio para el desarrollo de Autopistas Ferroviarias en la Península Ibérica 76</b>	
4.3.1. Resumen del Estudio del Ministerio de Fomento.....	76
4.3.1.1. Ámbito de estudio.....	77
4.3.1.2. Caracterización de la demanda.....	78
4.3.1.2.1. Metodología.....	78
4.3.1.2.2. Tráfico “actual” de vehículos pesados en 2013.....	79
4.3.1.2.3. Tráfico en año horizonte de vehículos pesados.....	80
4.3.1.2.4. Análisis de la demanda global apta para AF.....	81
4.3.1.2.5. Servicios potencialmente interesantes para la implantación de AF.....	81
4.3.1.2.6. Formulaciones de elección modal.....	83
<b>4.4. Estudio para el desarrollo de la Autopista Ferroviaria Madrid-Zaragoza- Barcelona.....</b>	<b>83</b>
4.4.1. Caracterización de la oferta de transporte.....	83
4.4.2. Análisis de la demanda de mercancías.....	85
4.4.2.1. Ámbito de estudio.....	85
4.4.2.2. Fuentes.....	86
4.4.2.3. Tráfico actual de vehículos pesados.....	87
4.4.2.4. Tráfico en año horizonte de vehículos pesados.....	103
4.4.2.5. Análisis de la demanda global apta para AF.....	110

4.4.2.6. Modelo de elección modal para captación de tráfico.....	116
4.4.3. Operación.....	128
4.4.4. Estudio económico-financiero.....	133
4.4.4.1. Inversiones.....	133
4.4.4.2. Gastos de personal.....	134
4.4.4.3. Ingresos.....	139
4.4.4.4. Resultados.....	139

## **5. TÚNEL DE LA ROMERA..... 145**

<b>5.1. Contexto general.....</b>	<b>145</b>
5.1.1. Línea ferroviaria.....	145
5.1.1.1. Circulaciones.....	146
5.1.2. Estado actual del túnel.....	147
5.1.2.1. Cartografía y topografía.....	149
5.1.2.2. Sostenimiento.....	154
5.1.2.3. Impermeabilización y drenaje.....	159
5.1.2.4. Emboquilles.....	162
5.1.2.5. Resumen patologías.....	165
5.1.2.6. Recomendaciones de mantenimiento.....	173
5.1.3. Limitaciones de gálibo. Necesidad de ampliación.....	177
<b>5.2. Contexto geotécnico.....</b>	<b>180</b>
5.2.1. Riesgos geotécnicos y condicionantes.....	190
<b>5.3. Ampliación del túnel.....</b>	<b>192</b>
5.3.1. Análisis de la solución.....	192
5.3.1.1. Contexto normativo.....	192
5.3.1.2. Afección al tráfico ferroviario.....	193
5.3.1.3. Sección tipo.....	193
5.3.1.4. Sostenimiento.....	195
5.3.1.4.1. Tramificación del sostenimiento y/o soluciones.....	200
5.3.1.5. Revestimiento.....	208
5.3.1.6. Impermeabilización y drenaje.....	209
5.3.1.7. Método constructivo.....	210
5.3.1.7.1. Excavabilidad.....	210
5.3.1.7.2. Análisis de soluciones constructivas.....	213
5.3.1.7.3. Descripción de la máquina de ampliación de gálibos.....	216

5.3.1.8. Plazo de ejecución.....	230
5.3.1.9. Presupuesto.....	232
<b>5.4. Modelo BIM.....</b>	<b>234</b>
5.4.1. Nube de puntos del túnel.....	235
5.4.2. Modelo BIM del túnel con soluciones proyectadas .....	236
5.4.3. Asociación información comercial y/o constructiva .....	237
5.4.4. Detección de colisiones entre elementos.....	238
5.4.5. Procedimiento constructivo (4D).....	240
5.4.6. Planos.....	240
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>241</b>
<b>7. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....</b>	<b>245</b>

- I. PLANOS**
- II. PRESUPUESTO**
- III. BIBLIOGRAFÍA**
- IV. ANEXOS**
  - A. Índice de ilustraciones**
  - B. Cálculos modelo de utilidad**
  - C. Demanda captada resultante**
  - D. Trayectos y kilómetros recorridos totales**
  - E. Trenes y vagones a disponer**
  - F. Maquinistas necesarios**
  - G. Cálculos inversiones y gastos**
  - H. Estudios económicos-financieros**



## 1. Objeto del TFM

### 1.1. Objetivos del TFM

Tras la adquisición de conocimientos y competencias a lo largo del Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, se busca por medio de este TFM desarrollar los conocimientos obtenidos en asignaturas como Planificación y Gestión del Transporte, Planificación, Gestión y Explotación de Infraestructuras, Modelos Avanzados en Ingeniería Civil, Túneles, Proyectos I y Proyectos II, de forma conjunta para que, desde la visión más general de un proyecto hasta lo más específico, entender y desarrollar por qué se realiza una obra, en qué condiciones y cómo se realiza.

Aplicando dichos conocimientos, se busca como objetivo desarrollar los siguientes puntos específicos:

- Conocer la planificación del transporte hasta día de hoy para analizar y estudiar las necesidades en el presente y el futuro de la planificación ferroviaria.
- Determinar las oportunidades y los retos a los que se enfrenta el transporte de mercancías por ferrocarril en Europa.
- Analizar los cambios existentes en la planificación y en la destinación de recursos al transporte por las consecuencias de la crisis sanitaria de la COVID-19.
- Determinar los corredores europeos de mercancías y la funcionalidad de las Autopistas Ferroviarias.
- Analizar y desarrollar las oportunidades de potenciación de la línea Madrid-Zaragoza-Barcelona como Autopista Ferroviaria para el tráfico de mercancías. Estudiar la posible demanda captada por este servicio, su rentabilidad y sus formas de financiación.
- Comprender y aplicar los estudios de gálidos ferroviarios en un corredor en función de las necesidades futuras de operación de la línea.
- Analizar y aportar una solución la ampliación de un túnel ferroviario para el paso de material rodante compatible con el servicio de una Autopista Ferroviaria aplicando nuevas tecnologías y la metodología BIM.
- Estudiar y aplicar el innovador sistema mecanizado de ampliación de túneles “TES” (Tunneling Enlargement System) que permite ejecutar la obra sin afección al tráfico ferroviario, permitiendo circular por el interior de dicha máquina.

## 1.2. Motivación del trabajo

Aunque, a priori, el TFM está estructurado en tres grandes bloques aparentemente dispares entre sí (planificación de infraestructuras, análisis económico-financiero y ampliación de un túnel) la realidad es que todos ellos están íntimamente relacionados entre sí.

Muchas veces, debido al escaso tiempo para realizar las tareas que tenemos encomendadas, no nos paramos a pensar detenidamente por qué se hace una obra en concreto o, al contrario, nos quedamos en un ámbito muy general y no profundizamos en ello. No nos hacemos las preguntas necesarias y se terminan haciendo proyectos para un cliente sin saber realmente qué es lo que quiere.

Con este TFM, desde el inicio hasta el final se pretende dar un enfoque general (al inicio) y concreto (al final) para comprender el hilo conductor de por qué se hace una obra, si es viable o no dentro de un proyecto completo y cómo se realizaría en concreto una ampliación de un túnel para dar sentido a todo lo anterior. Creo firmemente que es importante comprender en su totalidad un proyecto cuando nos enfrentamos a él y con este TFM se pretende que el lector sea capaz de comprender este trabajo desde ese punto de vista.

Además, creo realmente que somos una generación que tenemos que dar todo de nosotros para revertir la situación medioambiental en la que estamos inmersos. Los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos pueden ofrecer mucho para conseguir adaptar las infraestructuras existentes a este nuevo marco de desarrollo sostenible, y las Autopistas Ferroviarias es una herramienta para solventar una parte de ello y de la que quiero conocer más para mi futuro profesional.

También, en los últimos años en España se está observando que, con la gran red de infraestructuras que tenemos en nuestro país, se están llevando a cabo un gran número de actuaciones de adecuación de infraestructuras a los nuevos retos de la movilidad, tales como ampliaciones de grandes puentes, túneles y puertos. Los corredores naturales de las grandes infraestructuras de carreteras y ferrocarriles ya están ocupados por inversiones pasadas que, o se han quedado obsoletas o presentan una necesidad evidente de ampliación para atender la demanda presente y futura. Además, esto no solo ocurre en España, en el resto del mundo existen este tipo de necesidades de adecuación de infraestructuras a los nuevos retos.

Por último, existen escasas referencias sobre túneles siguiendo la metodología BIM expuesta en este TFM, por lo que afrontar esto con el nivel de detalle objetivo es un reto para el desarrollo de este Trabajo.

En definitiva, es una oportunidad poder abordar un TFM de este tipo, desde diferentes puntos de vista, que me aporte una visión diferente a la que tenía hasta el momento.

## 2. Planteamiento metodológico

Para desarrollar este TFM se ha planteado su división en tres grandes bloques que se han desarrollado cronológicamente de la siguiente manera:

- **Bloque 1:** Estado del arte

Este bloque se caracteriza como un punto para conocer, evaluar y estudiar, en definitiva, poner en contexto, la planificación ferroviaria en España y en Europa en los últimos años, así como las oportunidades, fortalezas, debilidades y amenazas del transporte de mercancías por ferrocarril en el presente y en sus futuros retos.

Además, se analizan las tecnologías existentes para dar servicio a las Autopistas Ferroviarias, y las necesidades de gálibos necesarias para poder llevar a cabo el servicio en una línea.

- **Bloque 2:** Autopista Ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona

Una vez analizados los objetivos de la Unión Europea en el marco del tráfico de mercancías en Europa y visto la oportunidad de desarrollo del Corredor Mediterráneo, en la línea Madrid-Zaragoza-Barcelona como Autopista Ferroviaria, se realiza un estudio de demanda y un estudio económico-financiero para conocer la viabilidad del proyecto.

- **Bloque 3:** Túnel de La Romera

Tras estudiar la viabilidad de la Autopista Ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona, analizar las necesidades operativas que requiere y las limitaciones existentes en la línea ferroviaria actual, se propone una solución a la ampliación de uno de los túneles existentes en el corredor, para poder albergar circulación del material rodante existente en el mercado para dar servicio a esta Autopista Ferroviaria.

Para ello es necesario recopilar la información existente del túnel de “La Romera” y así poder acometer las actuaciones. Con el fin de mejorar la solución proyectada se realiza un modelo BIM de la ampliación que servirá para comprender mejor el proyecto.



**Ilustración 1: Planteamiento metodológico del TFM (Fuente: Elaboración propia)**

## 3. Estado del arte

### 3.1. La planificación ferroviaria en España

#### 3.1.1. El ferrocarril en España

Las políticas de los distintos gobiernos españoles siempre han tenido en cuenta que el transporte por ferrocarril se trata de un modo de transporte esencial en la sociedad española actual, seguro y con escasa incidencia en el medio ambiente y el consumo energético (Cano Adán, 2015). Se trata además de un elemento vertebrador del país y un instrumento para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Los diferentes modos de transporte en que pueden basarse nuestra actividad vienen dados por una serie de desarrollos tecnológicos, inversiones y apuestas realizadas por diferentes entidades para aportar la solución a las necesidades de la sociedad.

De hecho, el ferrocarril fue durante un largo periodo de tiempo el modo de transporte sin rival próximo en la mayoría de los trayectos en los que se operaba, hasta que aparecieron otros modos de transporte que eran capaces de competir con el ferrocarril para el transporte de pasajeros y mercancías (Comisión Técnico Científica para el estudio de mejoras en el Sector Ferroviario, 2014).

Si bien es cierto, y como más tarde se habla en este TFM, el uso del ferrocarril actual es mucho menor que el de otros modos. Su principal ventaja frente a otros modos de transporte en la actualidad es la capacidad, haciendo que las características innatas del ferrocarril y todas sus ventajas enmarcado en un nuevo marco europeo de nuevas necesidades y/o nuevas sensibilidades (ambiental, social, energética, etc.) le aporten un alto posicionamiento y de grandes oportunidades para su desarrollo futuro.

##### 3.1.1.1. Red ferroviaria

Atendiendo a la red ferroviaria existente en el país, ésta se clasifica (siguiendo el criterio de clasificación propia con criterios de gestión o administración) en los siguientes (OFE, 2017):

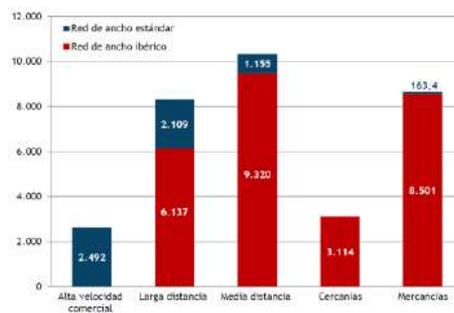
- Red Ferroviaria de Interés General (RFIG), la más extensa y que soporta mayor cantidad de tráfico, compuesta por la red administrada por Adif y Adif AV, la red de Puertos del Estado y la línea Figueres-Perpignan.
- Redes Ferroviarias Autonómicas que discurren únicamente por un territorio autonómico.

En concreto, la red gestionada por Adif, que discurre por todo el territorio peninsular, bien sea en ancho ibérico (1.668 mm), en ancho estándar (1.435 mm) o en ancho métrico (1.000 mm) tiene un total de 11.963,3 km (ADIF, 2020) con un reparto del 88,5%, 0,48% y 9,97%, respectivamente, además de un 1% de vía mixta.



**Ilustración 2: Red ferroviaria española gestionada por Adif y Adif AV (Fuente: ADIF, 2020)**

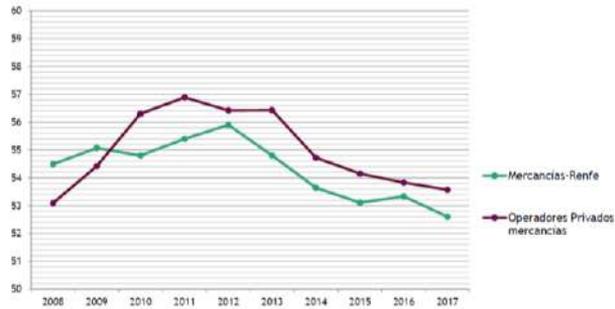
Como se puede observar, la mayor parte de las líneas existentes en la actualidad en España, a pesar de los múltiples esfuerzos para conseguir una red más interoperable, está compuesta por una red de ancho ibérico, a excepción de los últimos trazados construidos de alta velocidad y larga distancia, así como el tercer carril interoperable. En cambio, el resto de la red (en especial, la red de mercancías y cercanías) se encuentra montada sobre un ancho de vía ibérico, casi en su totalidad (Ilustración 2).



**Ilustración 3: Kilómetros de línea (Fuente: Ministerio de Fomento, 2017)**

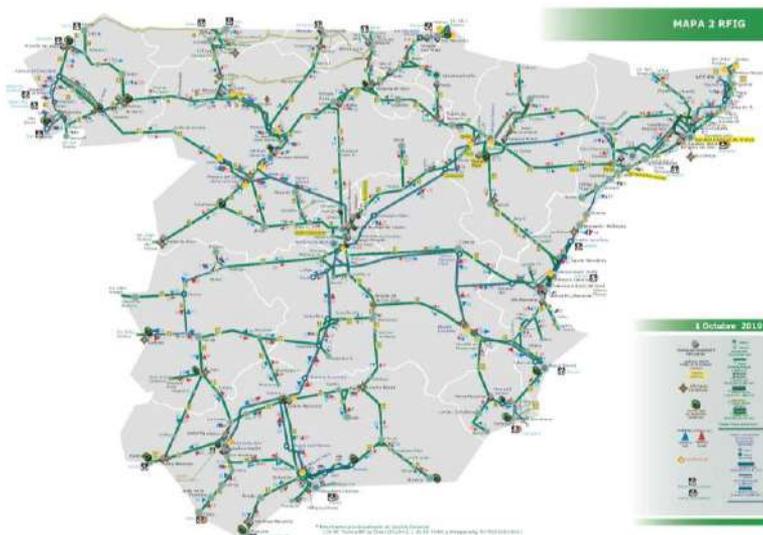
La realidad en cuanto al estado de la red ferroviaria existente en nuestro país, y como se va a explicar más adelante en el apartado correspondiente de planificación, es que las inversiones realizadas han sido en su mayoría para la potenciación del transporte de viajeros en largas distancias. La red convencional, por la cual se transportan las mercancías en España, necesita ser potenciada para obtener unos mejores índices de

calidad que vuelvan a reactivar su uso. Las velocidades medias de circulación de los trenes de mercancías han disminuido desde 2011 hasta la actualidad en cuatro puntos, lo que significa una pérdida de competitividad del ferrocarril frente a otros modos.



**Ilustración 4: Velocidad media (km/h) de las mercancías (Fuente: Ministerio de Fomento, 2017)**

Aun así, existe una red muy extensa por todo el territorio nacional con servicio de mercancías (8.664 kilómetros gestionados por Adif), y terminales, que dan servicio tanto en el interior como en terminales portuarias tales como Algeciras, A Coruña, Valencia o Barcelona. Como se puede observar (Ilustración 4), existe un eje Madrid-Zaragoza-Barcelona, objeto de este Trabajo Fin de Máster que tiene servicio de mercancías en un corredor en el que la mayor parte del transporte de viajeros por ferrocarril se realiza en la red de alta velocidad.



**Ilustración 5: Red y terminales de mercancías (Fuente: ADIF, 2020)**

España cuenta con una situación de privilegio, frente a otros países europeos, para abordar las demandas de mercancías, ya que se ha realizado una importante inversión en una red ferroviaria de alta velocidad, con lo que se puede destinar una parte muy importante de la red de ancho ibérico al transporte de mercancías (Comisión Técnico Científica para el estudio de mejoras en el Sector Ferroviario, 2014). En el caso del corredor Madrid-Zaragoza-Barcelona, existe una gran oportunidad de aplicar este criterio y potenciar el transporte de mercancías por ferrocarril.

El ferrocarril, en España, tiene una utilización escasa para el tráfico de mercancías; pero su problema es de oferta, no de demanda. En la ecuación  $\text{Servicio} = \text{Infraestructura} + \text{Capacidad} + \text{Oferta}$  (fiable y adaptada), que necesita resolver sobre todo el transporte ferroviario de mercancías, el primer paso es la infraestructura/sistema de gestión y el primer objetivo debe ser la conexión ferroviaria con Europa, como se viene evidenciando desde los últimos años hasta la actualidad. (Fundación Cetmo, 2005)

### 3.1.2. La planificación ferroviaria en España

La planificación parece estar consolidada como una de las principales vías de intervención pública en múltiples ámbitos de actividad en los distintos niveles de la Administración. Es un mecanismo de ordenación técnica de su propia acción en las áreas en las que tiene competencia; es una propuesta y compromiso político con la sociedad para alcanzar unos determinados objetivos, que debe ser contrastados en el horizonte temporal que se haya marcado. (Villalón, 2017)

En el caso de las infraestructuras de transporte, su planificación alcanza particular relieve por distintas circunstancias, entre las que han de ser destacadas el elevado coste económico, los impactos económicos, sociales y ambientales que su ejecución y puesta en servicio comportan, así como la impronta y perdurabilidad que en el territorio tiene su implantación. (Villalón, 2017)

Como se plasma a continuación, históricamente se ha producido una incoherencia entre las políticas de transporte aplicadas en España, el modelo territorial y los objetivos de la Unión Europea. Las infraestructuras de transporte se han diseñado con estructura radial y se continúan gestionando de manera bastante centralizada. Además, el sistema de transporte desarrollado ha tenido poco en cuenta la intermodalidad y las necesidades del transporte de mercancías a la hora de planificar la red de transporte ferroviario y, aún hoy, se presta una atención prioritaria al tráfico de viajeros. (Fundación Cetmo, 2005)

Antes de hablar sobre la estrategia que se está siguiendo en la planificación actual, centrándonos en el Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (PITVI) 2012 – 2024, se va a hacer un pequeño resumen de lo que se ha estado planificando hasta el día de hoy en nuestro país. De esta manera, se va a hacer un repaso de los diferentes planes de infraestructuras desde el Plan de 1987, entendiéndolo como un margen suficiente como para comprender los cambios sucesivos en la planificación ferroviaria en España.

a) **Plan de Transporte Ferroviario 1987:**

Este Plan surgió por la importancia del fomento del ferrocarril en el transporte tras la continua falta de inversión que se había vivido con anterioridad en este modo de transporte. Surgió tras el cierre de en torno a 1.000 km de líneas férreas, una continua obsolescencia y pérdida de competitividad frente a otros modos de transporte (Villalón, 2017). Por entonces, se había realizado una gran apuesta por la carretera, los avances en el sector automovilístico y el uso del vehículo privado como modo más flexible frente al ferrocarril.

Con este Plan se pretendía recuperar el posicionamiento del ferrocarril mediante una elevada inversión de mejora y renovación de la red para conseguir aumentar la velocidad media de los trayectos (reduciendo tiempos de viaje), electrificar las líneas, acondicionar la infraestructura, desdoblarse vías, construcción de nuevos trazados y variantes para mejorar el servicio, etc.

De esta manera, este Plan marcaba un eje vertebrador Barcelona-Madrid-Sevilla desde el que partirían dos bucles (este-oeste), siguiendo los corredores Madrid-Valencia-Tarragona-Barcelona y Madrid-Valladolid-Palencia-País Vasco-Navarra.



**Ilustración 6: Mejoras en la red del Plan de Transporte Ferroviario 1987 (Fuente: Tranvia.org, 2004)**

b) **Plan Director de Infraestructuras 1993-2007 y Plan de Infraestructuras Ferroviarias 1995-2000:**

Estos Planes, publicados con el fin de establecer una estrategia de planificación para el conjunto de las infraestructuras, y para definir en más detalle las actuaciones previstas en el Plan anterior, ponen al frente siete programas, o bloques principales: la Alta

Velocidad Española (AVE), actuaciones estructurantes, actuaciones complementarias, cercanías, redes arteriales ferroviarias, seguridad y pasos a nivel, conservación y mantenimiento, FEVE y puertos. Si bien es cierto, que el Plan habla de todos estos bloques, se centra como actuación estrella la construcción de una red de alta velocidad que complemente a la línea ya existente Madrid-Sevilla, ya puesta en servicio (Villalón, 2017), prolongando la red hasta la frontera francesa, un nuevo enlace europeo por país vasco, la línea Madrid-Valencia, extendiendo los beneficios de la alta velocidad a las ciudades más importantes de forma concéntrica a Madrid, etc. Además, realmente, la inversión que planifican estos documentos revela que la apuesta sigue centrándose en el uso del transporte por carretera, dado que el 50% de la inversión es para este tipo de infraestructura, frente a un 30% de la inversión destinada al ferrocarril (Villalón, 2017).

Aun así, aunque aparentemente se da prioridad a la alta velocidad para el desarrollo del país y dando respuesta política a las diferentes Comunidades Autónomas, el objetivo primordial desde el punto de vista presupuestario se focalizaba en la modernización de la red convencional para conseguir velocidades competitivas, se comienza a hablar del Corredor Mediterráneo, modernización de la Variante Norte, etc. (Villalón, 2017).

Además, se introduce la necesidad de separar dos redes ferroviarias diferentes: la red de ancho internacional para el uso exclusivo de viajeros (que sea competitivo con otros modos de transporte) y la red de ancho ibérico.



**Ilustración 7: Plan Director de Infraestructuras 1994 (Fuente: PDI, 1994)**

### c) Plan de Infraestructuras del Transporte 2000-2007:

Aunque no hay constancia de una aprobación como tal de este Plan, se conoce que éste apostaba más que ningún otro Plan por el fomento de la alta velocidad como el modo

de transporte del futuro, siguiendo las orientaciones de la Unión Europea. De hecho, tanto es así, que la inversión presupuestaria se equiparaba con la inversión en carreteras (38,6 %) hasta tal punto en el cual le superó la inversión en el ferrocarril (39,8%), ocupando así la primera posición presupuestaria (Villalón, 2017).

En este Plan se pretendía la construcción de una red de alta velocidad de 7.131 km que conectase todas las capitales de provincia con el centro del País, de una forma ramificada (Villalón, 2017). A día de hoy, es una idea que parece disparatada a priori teniendo en cuenta que la rentabilidad de la red existente es cuestionable, pero se cree que hubo un cambio en decisiones políticas propiciadas por disponer de Fondos de Cohesión Europeos. Tanto es así que incluso se llegó a planificar un corredor ferroviario de AVE del Cantábrico que conectase las principales ciudades del norte, potenciando así la economía en Galicia tras el *Desastre del Prestige*.



**Ilustración 8: Plan de Infraestructuras del Transporte 2000-2007 (Fuente: PEIT, 2000)**

#### d) Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes 2005-2020:

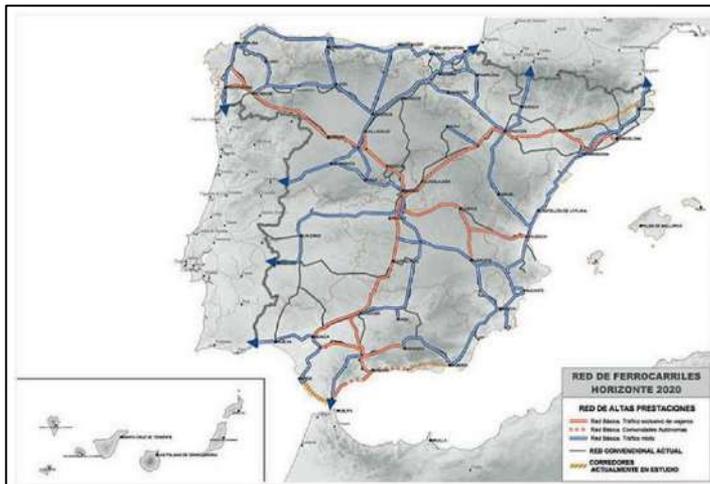
Este Plan surge como promesa electoral del Partido Socialista Obrero Español (PSOE) que fijaba la modernización de las infraestructuras e impulso de la economía.

Es un Plan en el cual se centra en aspectos tan importantes como son la intermodalidad, la interoperabilidad de la red española con el resto de la red europea mediante el cambio de ancho de vía, la seguridad, la calidad y eficiencia del transporte, el equilibrio territorial, la financiación del sistema y la cooperación interadministrativa (Villalón, 2017).

Además, se trata la modernización de la infraestructura mediante una Red de Alta Prestaciones con tráfico mixto (pasajeros y mercancías) conectando las principales

provincias del país de una forma más mallada que las redes que se planificaban hasta el momento como, por ejemplo, la conexión de Navarra y País Vasco, Aragón con Valencia, Madrid con Ávila, etc., además de incrementar el número de líneas en el Corredor Mediterráneo como eje importante para el desarrollo económico.

El PEIT no era sólo un programa de inversión, sino una reconfiguración total del sistema, debido a la necesidad de vías con funcionalidades mejoradas o vías nuevas. Estas políticas se traducían en la implantación física de la red, basada en líneas UIC de altas prestaciones y tráfico mixto, planificando infraestructuras exclusivas en corredores de alta demanda, modernizando los trenes de cercanías y potenciando la interoperabilidad e intermodalidad (Cano Adán, 2015)



**Ilustración 9: Plan de Infraestructuras y Transportes 2005-2020 (Fuente: PIT, 2005)**

Como se ha podido observar en estos últimos planes, y a falta de mostrar el Plan vigente (Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda 2012-2024) se puede ver que los Planes de Infraestructuras han sido una herramienta política-económica para fomentar según los intereses las competencias de unos u otros modos. A pesar de disponer hoy de un amplio sistema de transporte, su planificación, en los últimos años, no ha sido acorde a las necesidades reales de movilidad de la sociedad, lo que ha conllevado situaciones de exceso de capacidad e infraestructuras infrautilizadas al tiempo que surgían carencias y desequilibrios territoriales en dotación de infraestructuras y servicios (Ministerio de Fomento, 2015).

Además, se puede observar que el Corredor Mediterráneo (objeto de una fuerte reivindicación empresarial y política), cuyo potencial económico y poblacional está fuera de toda duda, forma parte de los principales ejes desde los primeros planes, pero necesita una serie de actuaciones que se contemplan más adelante en este TFM.

También, se puede observar que cada cambio en la dirección política del país ha venido acompañado de un nuevo plan, de modo que el periodo de vigencia de cada uno de ellos ha oscilado entre los cinco y los ocho años. Otra consecuencia de la sustitución de un plan por otro en tan corto espacio de tiempo es que ningún plan ha sido sometido a un proceso de evaluación y/o revisión de sus principios, objetivos o propuestas. Es importante abordar un plan que perdure en el tiempo con unos objetivos comunes del país fuera de posibles intereses locales.

### 3.1.3. Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (PITVI) 2012 – 2024

El PITVI se publica en un marco de crisis en el cual se busca la optimización del conjunto de las infraestructuras del territorio. Se publica cuando existe una drástica reducción de las inversiones públicas en nuevas infraestructuras, con paralizaciones de las obras, con el fin de utilizar la planificación para superar la crisis en la que se encontraba el país, cuestionando la planificación anterior por la poca conexión con la demanda.

Además, con un nuevo panorama europeo, con la aprobación de nuevas Directrices de la Unión Europea donde se orienta sobre nuevas políticas de transporte, se focalizan los esfuerzos en tratar temas como las redes transeuropeas, la liberalización de los servicios, la seguridad, la gestión integradas, la interoperabilidad, la intermodalidad y demás factores que se tratarán con posterioridad (Villalón, 2017).

Los objetivos que persigue el PITVI son la mejora de la eficiencia y competitividad, el desarrollo económico equilibrado, la movilidad sostenible, la cohesión territorial y la accesibilidad, y la integración funcional del sistema de transportes. Con estas ideas, el Plan se basa en los siguientes principios básicos:

- Profundizar en la liberalización y apertura del mercado en materia de gestión de infraestructuras y servicios de transporte.
- Potenciar una creciente participación del sector privado en el desarrollo y gestión del sistema de transporte.
- Mejorar la **eficiencia** del transporte de **mercancías**.
- Adecuación del sistema de provisión de infraestructuras y prestación de servicios a la demanda real de la sociedad.



**Ilustración 10: Objetivos estratégicos del PITVI (Fuente: PITVI, 2012)**

La orientación sectorial en cuanto al transporte ferroviario de mercancías, el PITVI afirma que *sigue siendo la asignatura pendiente del sector, por la existencia de diferentes barreras físicas, económicas, operacionales y de gestión. En este sentido, se acometerán diferentes iniciativas a todos los niveles (legislativas y regulatorias, liberalización del mercado y gestión de los servicios, e inversiones) de cara a conseguir una mejora de la eficiencia y la competitividad, así como la integración efectiva del ferrocarril en las cadenas logísticas* (Ministerio de Fomento, 2015). Para su potenciación, refleja las siguientes importantes actuaciones a realizar en el ámbito de las mercancías, entre otras:

- Elimina el tráfico mixto. Aprovechando que el transporte de viajeros se realizará cada vez más por la red de alta velocidad, la red convencional, liberada del tráfico ferroviario adaptará en mayor medida unas condiciones más favorables para el transporte de mercancías.
- Se promoverá la integración logística en la cadena de transporte intermodal y la potenciación de los modos más eficientes y menos agresivos con el medio ambiente.
- Se promoverá la eficiencia en el uso de los modos de transporte de mercancías, individualmente y en el marco de una integración de los distintos modos, mediante una red intermodal que permita realizar trayectos puerta a puerta y servicios logísticos completos.
- Eliminar las barreras y facilitar la entrada a los operadores privados, para conseguir que un mayor número de empresas se interesen por este modo de transporte.
- Intermodalidad e interoperabilidad mediante una red transeuropea del transporte.
- Actuaciones en reposición de la red convencional.

Cabe destacar que en el plan de actuaciones de nuevas inversiones en la red convencional, además de aparecer un gran número de accesos a puertos como el puerto de Algeciras, Barcelona o Cádiz, aparece la inversión en construcción de apartaderos de 750 metros (una actuación crucial para hacer competitivo al ferrocarril frente a otros modos de transporte, por economía de escala), así como establecer ancho UIC en el corredor Madrid-Zaragoza-Frontera Francesa (corredor objeto de estudio en este Trabajo Fin de Máster y objetivo directo de este PITVI). También, relacionado con este TFM, el PITVI plantea nuevas inversiones en la red convencional para plataformas e instalaciones logísticas de lugares como Zaragoza-Plaza, Madrid o El Prat, entre otros.

Además, en el PITVI (Ministerio de Fomento, 2015), se analizan unas fichas de actuaciones estratégicas, que vuelven a redundar en la necesidad de inversión en el transporte de mercancías. Enfocando el análisis en las mercancías, las actuaciones estratégicas del PITVI son:

1. Nuevo sistema de cánones de ADIF.
2. Adecuación de Renfe Operadora.
3. Nuevo modelo de gestión de servicios ferroviarios de mercancías: integración de mercancías en la cadena logística europea, impulsando las Redes Transeuropeas.
4. Nuevo modelo de gestión de las terminales de mercancías.
5. Racionalización de la oferta de servicios ferroviarios y de líneas deficitarias.
6. Mantenimiento de los estándares de calidad y seguridad, reposición y mejora de la red convencional.
7. Potenciación del transporte ferroviario de mercancías.



**Ilustración 11: Principales flujos de mercancías (Fuente: PITVI, 2012)**

### 3.2. Necesidades en el presente y futuro de la planificación del transporte europeo

Como se ha adelantado con anterioridad, y en lo que se ha basado el PITVI para desarrollar todas las medidas planteadas, la Unión Europea está siguiendo un hilo de potenciación del ferrocarril. El Reglamento (UE) 913/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de septiembre de 2010 sobre una red ferroviaria europea para un transporte de mercancías competitivo estableció una serie de corredores europeos de mercancías para aumentar la competitividad del ferrocarril frente a otros medios de transporte (Adif, 2020).



**Ilustración 12: Corredores de la Red Básica (Fuente: Adif, 2020)**

Estos corredores europeos de mercancías constituyen asimismo la espina dorsal de las Redes Transeuropeas de Transporte definidas en los Reglamentos UE 1315/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de Diciembre de 2013 sobre las orientaciones de la Unión para el desarrollo de la Red Transeuropea de Transporte, y 1316/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de Diciembre de 2013 por el que se crea el Mecanismo “Conectar Europa” (Adif, 2020).

Con esta idea se pretende la interconexión de todos los países europeos mediante el ferrocarril, como una puesta de un sistema de transporte más descarbonizado, más amigable con el medio ambiente, conectado con otros modos de transporte, cambiando el reparto modal hacia un transporte más seguro, eficiente, fiable, cómodo y sostenible. Como decía el ministro José Luis Ábalos en la jornada “Basque Rail Way 2020”, *el enfoque del nuevo ministerio sigue las mismas directrices y objetivos que Europa, garantizando un sistema de transporte hacia la neutralidad carbónica, de gran capacidad y aumentando la cuota de movilidad conjunta de viajeros y mercancías en el largo recorrido para el ferrocarril, bajo los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (BasqueMobility, 2020).*

### 3.2.1. Libro Blanco del Transporte

La Dirección General de Movilidad y Transportes, de la Comisión Europea, (Dirección General de Movilidad y Transportes, Comisión Europea, 2011) publica el Libro Blanco del Transporte como una hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte, con el fin de promover políticas de transporte competitivas a la par que sostenibles, desde el inicio de sus políticas de transporte.

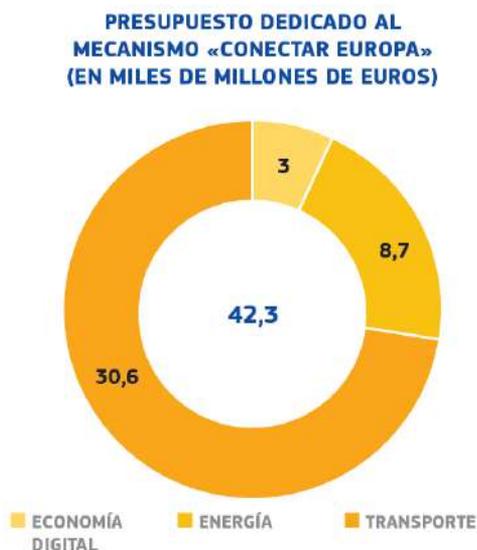
Específicamente, analizando el Libro Blanco del Transporte desde el punto de vista del transporte de las mercancías, de manera directa o indirecta, este documento fija ciertos objetivos interesantes:

- Para poder alcanzar la reducción de carbono esperada, la UE necesita reducir un 80-95 % de sus emisiones por debajo de los niveles de 1990, y hacerlo antes de 2050, rompiendo la dependencia de los sistemas de transportes respecto del petróleo sin sacrificar su eficiencia ni comprometer la movilidad.
- Intentar **transferir a otros modos**, como el ferrocarril o la navegación fluvial, de aquí a 2030, **el 30 % del transporte de mercancías por carretera**, y para 2050, más del 50 %, apoyándose en corredores eficientes y ecológicos de tránsito de mercancías. Para cumplir este objetivo también será preciso desarrollar la infraestructura adecuada.
- A veces el ferrocarril es considerado un modo poco atractivo, en especial para el transporte de mercancías. Pero hay ejemplos en algunos Estados miembros que demuestran que puede ofrecer un servicio de calidad.
- Garantizar un cambio estructural que permita al ferrocarril competir eficazmente y absorber una proporción significativamente mayor de carga de media y larga distancia.
- Disponer para 2030 de una «red básica» de RTE-T que cubra toda la UE, multimodal y plenamente operativa, con una red de alta calidad y capacidad para 2050 y el conjunto de servicios de información correspondiente.
- De aquí a 2050, conectar todos los aeropuertos de la red básica a la red ferroviaria, preferiblemente de alta velocidad; garantizar que todos los puertos de mar principales estén suficientemente conectados con el sistema ferroviario de transporte de mercancías y, cuando sea posible, con el sistema de navegación interior.
- El ámbito en el que persisten los obstáculos más evidentes es el mercado interior de los servicios ferroviarios, que tiene que completarse de forma prioritaria para poder realizar un espacio ferroviario único europeo. Esto incluye la supresión de los obstáculos técnicos, administrativos y jurídicos que siguen dificultando el acceso a los mercados ferroviarios nacionales.
- Europa necesita una «red básica» de corredores por los que circulen grandes volúmenes consolidados de tráfico de mercancías y de pasajeros con alta eficiencia y bajas emisiones, gracias a la utilización extensiva de modos más eficientes de combinaciones multimodales y a la situación.
- Desarrollar un enfoque integrado para la gestión de los corredores de mercancías, incluidos los cánones por acceso a las vías.

- Crear en el contexto de la «red básica» estructuras de corredores multimodales de mercancías para sincronizar las inversiones y las obras de infraestructura y dar apoyo a servicios de transporte eficientes, innovadores y multimodales, incluidos los servicios ferroviarios de media y larga distancia.

### 3.2.2. Mecanismo “Conectar Europa”

La Unión Europea, en esta apuesta firme por el ferrocarril, lleva a cabo el Mecanismo “Conectar Europa” (Comisión Europea, 2018) dotado con un presupuesto de 42.300 millones de euros para el periodo de 2021-2027 apoyando proyectos de infraestructuras que conecten la Unión Europea y sus regiones, así como otros modelos de financiación como el *Fondo de Cohesión* y el *Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)*. En particular, el 60% del presupuesto de este Mecanismo (30.600 millones de euros) irán destinados a conseguir los objetivos en materia del clima, en consonancia con los compromisos de la UE en virtud del Acuerdo de París (Comisión Europea, 2018). De hecho, en materia de transporte, y en consonancia con los objetivos perseguidos, explicados a continuación, el Mecanismo Conectar Europa destinará 30.600 millones de euros de la totalidad del presupuesto, el 72%.



**Ilustración 13: Presupuesto Conectar Europa (Fuente: Comisión Europea, 2018)**

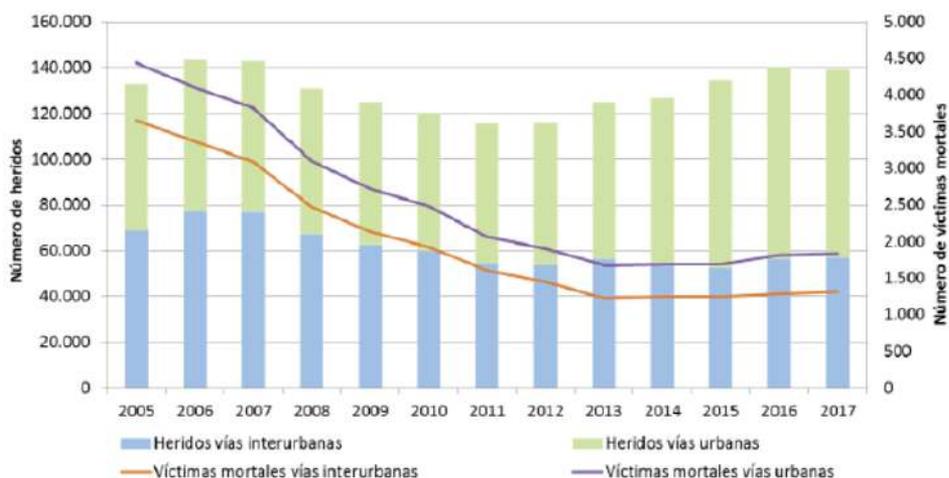
Los objetivos en materia de transporte por la cual la Unión Europea destina este presupuesto para financiar proyectos estratégicos son (Comisión Europea, 2018):

- Hacer progresar las labores relativas a la red europea de transporte, contribuyendo a la vez a la transición de la UE hacia una movilidad conectada, sostenible, integradora, segura y protegida.

- Descarbonizar el transporte, por ejemplo, mediante la creación de una red europea de infraestructuras de recarga de combustibles alternativos y la prioridad dada a los modos de transporte respetuosos con el medio ambiente.
- Invertir en proyectos de transporte con alto valor añadido en los países de cohesión, con un presupuesto de 11 300 millones EUR.
- Adaptar tramos de la red de transporte al doble uso civil y militar, con un presupuesto de 6 500 millones EUR en el contexto de la Iniciativa Europea de Defensa.

### 3.2.3. Seguridad en el transporte

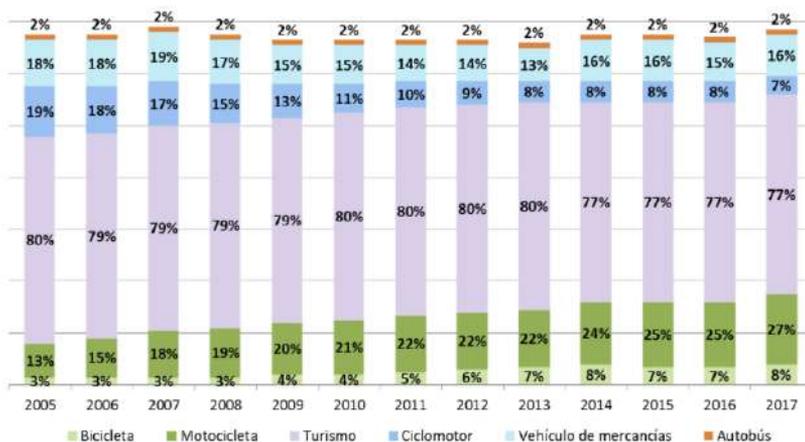
Uno de los objetivos definidos en el Libro Blanco del Transporte propone que desde la actualidad a 2050, hay que aproximarse al objetivo de «cero muertes» en el transporte por carretera. En línea con este objetivo, la UE se ha fijado la meta de reducir a la mitad las víctimas de la carretera para 2020. Aunque todavía son datos que no se pueden contrastar, la evolución de número de heridos y víctimas mortales en la carretera, aunque tiene una tendencia a disminuir, parece ser un objetivo (a día de hoy) inalcanzable.



**Ilustración 14: Evolución del número de víctimas 2005-2017. (Fuente: OFE, 2017)**

La Unión Europea busca ser líder mundial en seguridad y protección en el transporte en todos los modos de transporte. (Dirección General de Movilidad y Transportes, Comisión Europea, 2011).

Observando los datos de accidentalidad, puede verse que en el último año de los datos presentados (Ilustración 14) en al menos un 16% de los accidentes de carretera estaba implicado al menos un vehículo de mercancías.



**Ilustración 15: Evolución de la distribución de accidentes por tipo de vehículo (Fuente: OFE, 2017)**

Hay una gran cantidad de carreteras en España donde el tráfico de mercancías supera los valores medios de vehículos pesados. Por ejemplo, la carretera N-121-A, ubicada en un importante corredor de mercancías, junto a la frontera francesa, en el año 2018 registró un reparto del 34,13% de vehículos pesados, con un total de 2.471 vehículos pesados (Gobierno de Navarra, 2018). De hecho, la N-121-A constituye la vía de la red principal de carreteras de Navarra con mayor accidentalidad (Gobierno de Navarra, 2018). Para rebajar estos valores, el Gobierno de Navarra está implementando una serie de medidas disuasorias para el transporte de mercancías por dicha carretera, aun siendo un corredor de mercancías tan importante para la región.



**Ilustración 16: Carretera NA-121-A (Fuente: Navarra televisión, 2020)**

En cuanto a la seguridad del transporte ferroviario, se debe destacar que el ferrocarril es el modo de transporte terrestre más seguro. La seguridad de este modo sólo se ve superada por la aviación en ciertos países. Ello indica que un trasvase modal al ferrocarril

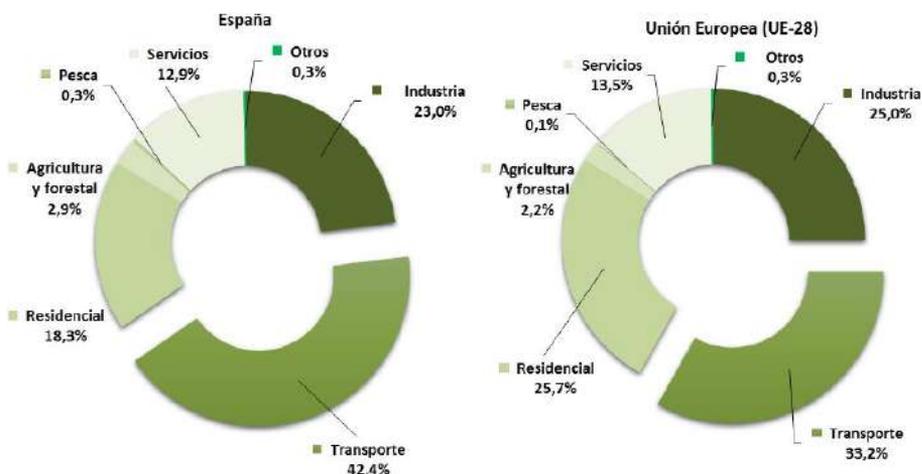
sería una herramienta más para reducir la accidentalidad y conseguir el objetivo de «cero muertes».

Modo de transporte utilizado	Riesgo de accidente mortal (2008-2010) (Nº de muertos por mil millones de pasajeros-km)
Aviación	0,101
Transporte ferroviario	0,156
Vehículo privado (conductor o pasajero)	4,450
Autobús	0,433
Vehículos de dos ruedas motorizados	52,593

**Ilustración 17: Riesgo de accidente mortal por modo de transporte (Fuente: (Comisión Técnico Científica para el estudio de mejoras en el Sector Ferroviario, 2014))**

### 3.2.4. Eficiencia energética

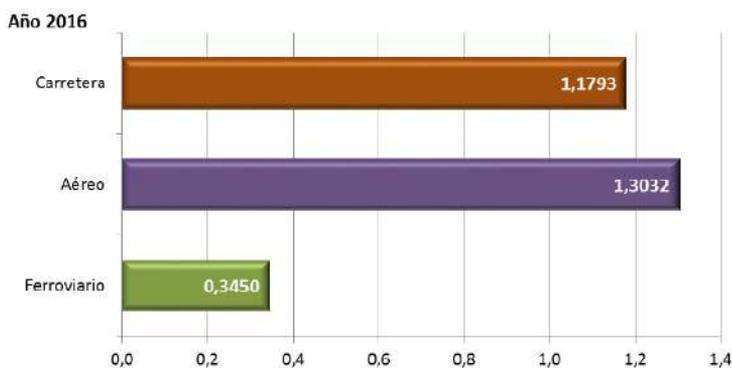
Para alcanzar un desarrollo sostenible en el ámbito español, es necesaria la mejora continua de los aspectos ambientales involucrados en una actividad tan energéticamente intensa como el transporte en nuestro país (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019). Tanto es así, que el consumo energético en el transporte, en relación con otros sectores, es mayor que en la media de la Unión Europea.



**Ilustración 18: Consumo energético por sectores (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018)**

De hecho, el transporte por carretera (2016) es el responsable de más del 93% de este consumo energético con 1.149.591 Terajulios (TJ) de los 1.227.543 TJ totales. Incluso observando a nivel de mercancías, el transporte por carretera no urbana de mercancías supone un consumo energético total de 314.858 TJ, mientras que el ferrocarril en su totalidad tuvo un consumo energético total de 15.933 TJ (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019).

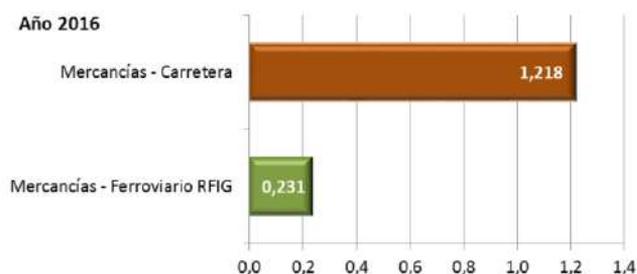
Analizando la eficiencia energética, como la manera de evaluar la capacidad que tiene cada modo de ofrecer su servicio con el menos gasto posible, el transporte por ferrocarril tiene una clara ventaja sobre el resto de los modos de transporte en cuanto a esta eficiencia energética (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019).



**Ilustración 19: Consumo de energía por unidad de tráfico, TJ/UT-km (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018)**

Esta eficiencia del ferrocarril frente a otros modos se debe en gran parte a la gran capacidad que puede transportar en cada desplazamiento y a la fuente de energía utilizada, en la que cada vez más, las líneas electrificadas suponen un consumo de energía más eficiente y sostenible.

De hecho, comparando la eficiencia energética del ferrocarril frente a la carretera en términos del transporte de mercancías (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019), se obtiene que en 2016 el transporte de mercancías en ferrocarril es 5 veces más eficiente que por carretera. Si a ello le sumamos, la potencialidad que tiene el ferrocarril para ser aún más eficiente en un futuro próximo, podemos afirmar que el ferrocarril despunta sin lugar a duda y con gran diferencia frente al resto.



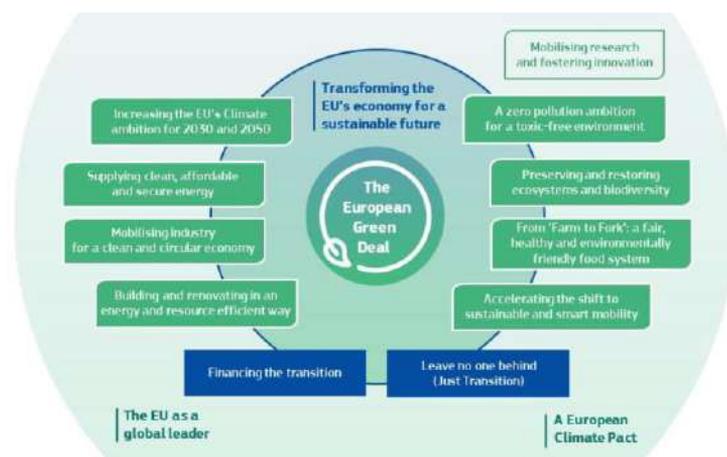
**Ilustración 20: Consumo de energía en el transporte de mercancías por unidad de tráfico (carretera y ferrocarril), TJ/UT-km (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018)**

### 3.2.5. Reducción de impacto medioambiental

Muchas son las iniciativas o estrategias planteadas desde la Unión Europea para frenar el impacto medioambiental que está generando la sociedad. Por ejemplo, el Libro Blanco del Transporte (ya mencionado), el Libro Verde sobre la Seguridad del Aprovisionamiento Energético, la Estrategia de la Comisión sobre Combustibles Alternativos Aplicados al Transporte, la Semana Europea de la Movilidad, Programas Marco de I+D, Programa CAFÉ, Estrategia Europea de Desarrollo Sostenible, Green Paper del Transporte, etc. Entre todos ellos, y más, la Comisión Europea ha publicado la estrategia de crecimiento **“The European Green Deal”** (Comisión Europea, 2019) hace escasos meses en el cual se acuerda mejorar el bienestar de las personas, haciendo una Europa neutral de emisiones y protegiendo el hábitat natural en beneficio del planeta en el que vivimos y desarrollamos nuestras actividades económicas. Se busca:

- Convertir a Europa en un territorio neutral de emisiones en el año 2050.
- Proteger la vida humana, los animales y las plantas mediante la reducción de la contaminación.
- Ayudar a las empresas a convertirse en líderes mundiales en productor y tecnologías limpias.
- Ayudar a garantizar una transición justa, verde e inclusiva, asegurando un planeta saludable para las generaciones venideras.

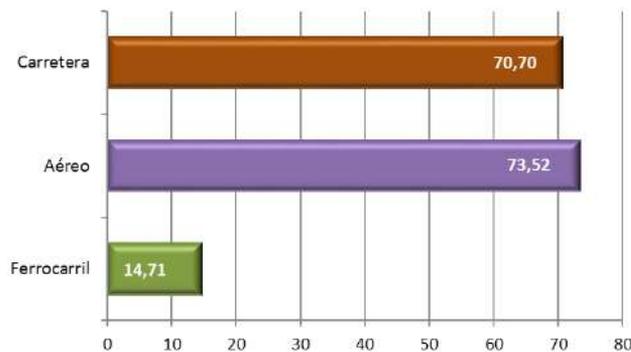
Y para ello, no solo va a aportar unas recomendaciones, sino que la Comisión Europea propondrá una Ley Europea del Clima que convierta el compromiso político en una obligación jurídica. Como se decía en la conferencia (BasqueMobility, 2020), el **“European Green Deal”** no es una oportunidad, es un deber.



**Ilustración 21: Plan "The European Green Deal" (Fuente: Comisión Europea, 2019)**

En especial, una medida que trata el “The European Green Deal” es que el transporte multimodal necesita un fuerte impulso, tal y como se viene reiterando en este TFM. Se afirma que esto aumentará la eficiencia del sistema de transporte y se analiza la necesidad de que una parte sustancial del 75% de la carga interior que se transporta por carretera pase a transportarse por ferrocarril o a vías navegables. Esto requerirá medidas para gestionar mejor y aumentar la capacidad de los ferrocarriles y las vías navegables interiores, que la Comisión propondrá para 2021. La Comisión también considerará retirar y presentar una nueva propuesta para revisar la Directiva de Transporte Combinado para convertirla en una efectiva herramienta para apoyar operaciones de carga multimodales que involucran transporte por ferrocarril.

El contexto en el que predominan los combustibles convencionales no se ve reflejado en el transporte ferroviario, ya que, al emplear cada vez en mayor medida (en 2016 fue del 80%) como fuente de energía la electricidad, tiene un nivel de emisiones directas de GEI que es 5 veces inferior al del resto de modos. Es decir, la energía consumida por el ferrocarril es la que menos emisiones directas de GEI y otros contaminantes produce, pues estas se limitan al consumo de gasóleo y, en mucha menor medida, gas natural para tracción (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019). Sin entrar en mayores explicaciones, de los diferentes estudios se puede observar que se obtienen las mismas conclusiones que las realizadas en la eficiencia energética. En este caso, el ferrocarril es el modo más sostenible con el medio ambiente, como cabía esperar.



**Ilustración 22: Emisiones de GEI (toneladas eq. de CO2) respecto a consumo energético (TJ) por modos (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018)**

Para concienciar a la sociedad sobre esta idea, la organización europea Rail Freight Forward (RFF) (Rail Freight Forward, 2020), a la cual pertenecen 18 compañías ferroviarias como Renfe Mercancías, llevó a cabo el proyecto conocido como “El tren de Noé” en el cual se quiere transmitir el impulso del transporte de mercancías como una solución más sostenible para el medioambiente, reduciendo las emisiones e incrementando el uso del ferrocarril.

Este proyecto se materializó mediante una obra de arte en un tren de mercancías en el cual hay pintado una serie de especies animales en los contenedores transportados, la

obra de arte móvil más larga para la protección del clima. Este tren ha estado circulando durante un año por las ciudades europeas a modo de exposición en las estaciones más importantes de Europa para que la ciudadanía pudiese observar y concienciarse sobre esta idea.

La coalición tiene la ambición de aumentar la participación modal de la carga ferroviaria en Europa del 18% al 30% en 2030 como la mejor solución macroeconómica para el crecimiento europeo. Una participación modal más alta del 30% de la carga ferroviaria para 2030 conducirá a una ganancia económica de 100 mil millones de euros debido a menores externalidades, 290 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> ahorradas, 40.000 muertes prematuras menos debido a la contaminación evitada y 5.000 muertes menos debido a la seguridad vial en las carreteras.



**Ilustración 23: Exposición de El Tren de Noé (Fuente: Rail Freight Forward, 2020)**

### 3.2.6. Intermodalidad o Transporte combinado

Se denomina intermodalidad a la utilización sucesiva de varios modos de transporte para el transporte de pasajeros o mercancías, y transporte combinado, a aquel tipo de transporte intermodal tal que el traslado de las mercancías, además de efectuarse sin ruptura de la unidad de carga, utilizando sucesivamente dos o más medios de transporte, se realiza la mayor parte del recorrido por ferrocarril, por vías navegables interiores o marítimo.



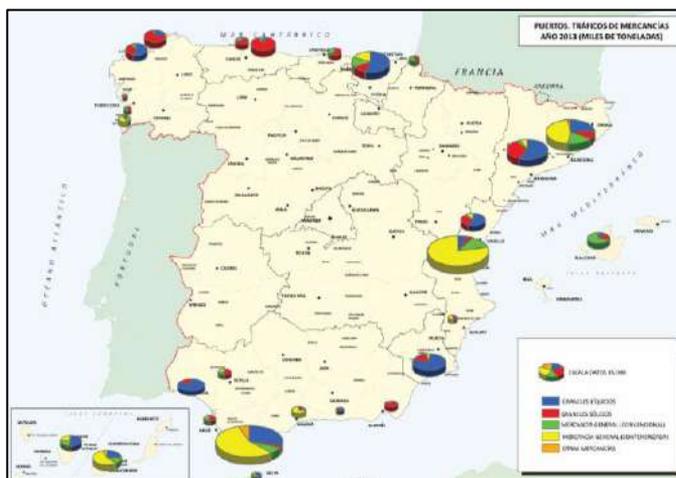
**Ilustración 24: Cadena intermodal (Fuente: Elaboración propia)**

La eficiencia del transporte de mercancías pasa por soluciones multimodales basadas en la navegación fluvial y el ferrocarril para el largo recorrido, dada la alta congestión de la carretera y el aumento de las externalidades, la facilidad del transporte por el crecimiento de la “contenerización” y el auge de las actividades logísticas. Además, es importante recalcar que es necesario utilizar cada modo en el trayecto para el cuál es más eficiente. Es ahí donde entra realmente la importancia de la intermodalidad.

Es poco probable que los vehículos más sostenibles y los combustibles menos contaminantes consigan por sí solos las necesarias reducciones de las emisiones y tampoco van a resolver el problema de la congestión. Esto ha de ir acompañado por la consolidación de grandes volúmenes para los desplazamientos a grandes distancias (Dirección General de Movilidad y Transportes, Comisión Europea, 2011).

La intermodalidad es, fundamentalmente, un problema de nudos y, en España, los centros de transporte ligados a la carretera y las terminales intermodales ferroviarias constituyen dos redes en general separadas. Para mejorar la intermodalidad ferrocarril-carretera, tiene que darse más relevancia a las terminales ferrocarril-carretera o ferrocarril-puerto, que a las zonas logísticas. Por otra parte, los grandes ejes ferroviarios deben conectar también los principales centros de carretera y las áreas logísticas (Fundación Cetmo, 2005).

Dentro del comercio internacional por vía marítima, el Mediterráneo va a ganar importancia en la ruta Asia-Europa y en la relación con el norte de África. En esa fachada se presenta ahora la mayor oportunidad para los grandes puertos españoles. Debido a la congestión en la fachada norte europea, la consolidación de puertos mediterráneos competitivos va a permitir que las grandes navieras se decidan a privilegiar la entrada en Europa desde el sur (Cetmo, 2005).

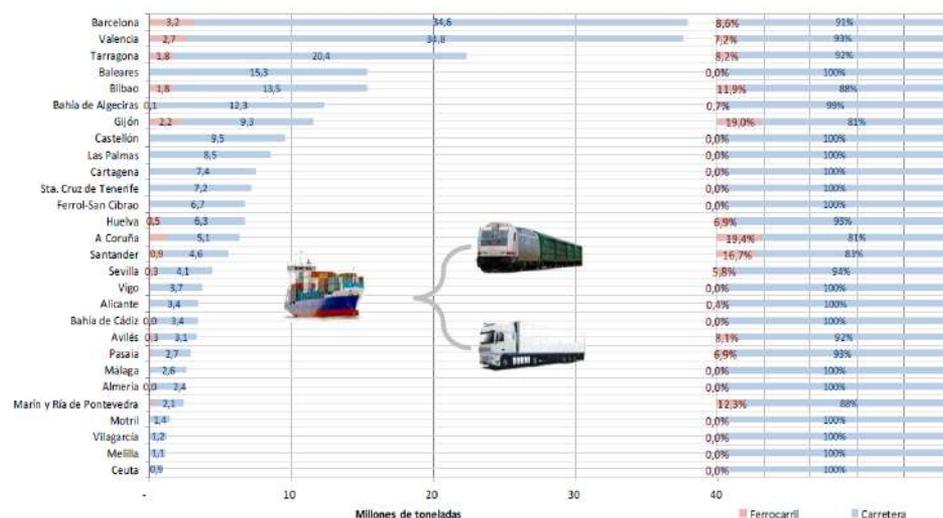


**Ilustración 25: Tráfico de mercancías en los puertos españoles (Fuente: PITVI, 2013)**

Por ejemplo, observando la Ilustración 24, se puede observar que, conectando el puerto de Algeciras por ferrocarril con el resto de Europa, se consigue de una manera eficiente, conectar Europa con uno de los puertos más importantes del Mediterráneo con la Ruta Marítima de la Seda, dando lugar a lo que se conoce como Corredor Mediterráneo.

La accesibilidad a los puertos es crítica y es un hecho que en ellos no hay buenas condiciones de intermodalidad por razones históricas y de mentalidad. El cambio necesario requiere la mejora de la interconexión, para que tanto la carretera como el ferrocarril dispongan de unas buenas instalaciones en los puertos (Fundación Cetmo, 2005).

En la actualidad, la mayor parte de la intermodalidad con puertos se realiza por carretera con una cuota del 93,6% (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019) frente al 6,4 % del ferrocarril, y esta práctica se realiza sobre todo en los puertos de Barcelona, Valencia y Tarragona (entre otros).



**Ilustración 26: Intermodalidad en los puertos españoles (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018)**

### 3.2.7. Interoperabilidad

Para permitir la intermodalidad y realmente conseguir una Red Transeuropea de Transporte, eliminando las barreras que posee el ferrocarril en cuanto a material rodante, tecnología, señalización, normas de seguridad, corrientes de tracción y limitaciones de velocidad, la Unión Europea ha publicado numerosa normativa con el objetivo de alcanzar la interoperabilidad europea y una Red Transeuropea de Transporte.

Con la **Directiva 96/48/CE**, de 23 de julio de 1996, relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad, y la **Directiva 2001/16/CE**, de 19 de marzo de 2001, relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo

convencional, la Unión inició un proceso destinado a garantizar el tránsito fluido y seguro de los trenes entre las redes nacionales de los Estados miembros. En el marco de estas Directivas se elaboraron algunas soluciones técnicas (las llamadas «especificaciones técnicas de interoperabilidad» o ETI). Estas regulan aspectos fundamentales como los sistemas de control, la seguridad, la señalización, las aplicaciones telemáticas para el transporte de mercancías, la cualificación del personal en el transporte internacional, los vagones de mercancías y la atenuación del ruido.

La última, en el marco del cuarto paquete ferroviario es la **Directiva (UE) 2016/797**, de 11 de mayo de 2016, sobre la interoperabilidad del sistema ferroviario dentro de la Unión Europea.

El objetivo de tener una red europea interoperable es conseguir que un tren pueda circular por cualquier tramo de la red ferroviaria de la Unión Europea sin presentarse ningún obstáculo técnico ni administrativo, permitiendo así más rapidez, confianza y eficacia de los servicios internacionales para competir con otros modos de transporte más flexibles. La interoperabilidad de la red es un elemento clave de las redes transeuropeas (comentadas anteriormente) y sin ella difícilmente podría llevarse a cabo.

Los objetivos son dinamizar las operaciones de transporte transfronterizo de viajeros y mercancías, modernizar la infraestructura y eliminar cuello de botella en la red.

### 3.2.8. Consecuencias de la COVID-19 en el ferrocarril

Como bien sabemos, y vamos a experimentar en la actualidad, las consecuencias del virus COVID-19 en España va a acarrear cambios de ideologías o formas de gestionar situaciones extraordinarias o planteamientos que hasta ahora no se habían reconsiderado. En el caso del transporte, y durante la redacción de este TFM, ya empiezan a aparecer las primeras conclusiones en cuanto al transporte de mercancías es una situación de crisis nacional como la que estamos viviendo.

Una de las primeras reflexiones en este marco de crisis sanitaria es la del **Coordinador del Gobierno para el Corredor Mediterráneo** (Josep Vicent Boira). Publica el documento “Reflexiones sobre la crisis COVID-19. 10 lecciones de la crisis de la COVID-19 para el sistema de transporte y logística español. Un análisis de la urgencia” (Boira, 2020), afirmando que *“esta crisis debería acelerar la apuesta por el ferrocarril de mercancías, construyendo una red más versátil, resiliente y apta para encajar crisis como esta”* (Castelló, 2020). Considera prioritario el desarrollo de los corredores Mediterráneo y Atlántico en ancho internacional y uso mixto para viajeros y mercancías puesto que “de producirse un colapso en las carreteras España podría tener problemas para abastecer y abastecerse. *“España mueve el 96% de sus mercancías por carretera y eso podría llevarnos a una situación de colapso si en una crisis como la actual se produce un cierre de fronteras y un control aduanero en cada estado que se cruza, además el riesgo que conlleva para los propios transportistas; por eso la post crisis pasa por una apuesta decidida por el uso del ferrocarril para transportar mercancías a larga distancia. En una crisis como la actual el ferrocarril garantiza una mayor capacidad de carga, agilidad,*

rapidez, seguridad, servicio 24 horas y requiere de menos capital humano, es decir, menos riesgos para los trabajadores" (Castelló, 2020).

En este documento, Josep Vicent Boira trata temas como escalas y globalización, desarrollo de las infraestructuras, nuevas realidades territoriales; resiliencia, plurifuncionalidad y pluralidad del sistema de transportes, evitar la dependencia hacia la carretera en el transporte de mercancías y la interoperabilidad.

Además, la **Asociación Ferroviaria Española (MAFEX)** ha remitido una carta a los ministros de transporte, industria y economía en la que presenta su posicionamiento ante el impacto de la crisis provocada por el coronavirus en el sector de la industria ferroviaria. El documento, que incluye "El impacto del coronavirus en la industria ferroviaria española", recoge las principales medidas propuestas por la industria para apoyar al sector y paliar cuanto antes los efectos de la crisis. Entre las medidas propuestas, la asociación sugiere mantener la inversión prevista en infraestructuras y material móvil, así como en I+D ferroviarias, adelantando incluso en la medida de lo posible inversiones previstas para años posteriores; la "no paralización" de licitaciones públicas; el adelanto de cobros y aplazamiento de determinados pagos con la administración; o el apoyo de la administración expresa especialmente para contratos internacionales a la hora de lograr que no se apliquen a las empresas penalizaciones por incumplimiento de plazos de entrega, pudiendo alegar fuerza mayor; además de iniciativas futuras para reducir el aumento del paro y la pérdida del talento que puede producirse en el futuro (Veintepies, 2020).



**Ilustración 27: Tráficos internacionales en COVID-19 (Fuente: Logística.cdcomunicacion, 2020)**

Las asociaciones europeas **CER (Community of European Railway)** y **Unife**, que representan a operadores ferroviarios, administradores de infraestructuras y a la industria de suministros ferroviarios, han enviado una carta al vicepresidente de la Comisión Europea, Frans Timmermans, a la comisaria de Transporte, Adina Valean, a la de Cohesión y Reformas, Elisa Ferreira, y a los ministros de Transporte de la UE para solicitar que el próximo presupuesto de la UE integre el ferrocarril como un elemento

decisivo para la recuperación de Europa tras el impacto de la COVID-19 (El Vigía, 2020). En el contexto de revisión del Marco Financiero Multianual (MFF), ambas organizaciones reclaman que el mecanismo de Conectar Europa (CEF 2), la próxima generación de fondos estructurales y el programa Horizonte Europa, adopten una estrategia “correcta” para el transporte en los próximos años y sitúen el ferrocarril como “elemento central del sistema de transporte europeo, la columna vertebral de la movilidad del mañana” siendo necesario *“ampliar el CEF 2 asignando más recursos presupuestarios para lograr una rápida transición hacia una movilidad ecológica y sostenible”* (Unife, 2020). Aseguran que las inversiones en la infraestructura ferroviaria benefician al conjunto de la sociedad, *“ya que garantizan el transporte seguro y fiable de personas y mercancías, incluso en medio de crisis sanitarias como la derivada de la COVID-19”*. CER y Unife explican que las empresas de transporte ferroviario de mercancías *“han demostrado su fortaleza al ofrecer conexiones eficientes de carga transfronteriza para grandes volúmenes de carga utilizando un mínimo de recursos humanos”*. *“La inversión en los recursos y las tecnologías adecuadas que permitan maximizar la capacidad de la infraestructura ayudará a que el transporte de mercancías por ferrocarril alcance su verdadero potencial”*.

En este mismo marco, durante la redacción de este TFM, las diferentes entidades de la Unión Europea comenzaban a negociar un presupuesto billonario y su fondo de recuperación poscoronavirus (CincoDías, 2020). El viernes 19 de junio de 2020, comenzaba la negociación en la que los jefes de los Gobiernos de la Unión Europea sacaban adelante el ambicioso **plan de recuperación propuesto por la Comisión Europea** para ayudar a reparar los daños económicos y sociales ocasionados por la pandemia de coronavirus, activar la recuperación europea y preparar un futuro mejor para la próxima generación (Comisión Europea, 2020). En total, tomando como referencia el borrador presentado por el Ejecutivo Comunitario, se movilizarían unos 750.000 millones de euros, una partida vinculada a su vez al presupuesto de la UE con vistas al Marco Financiero Plurianual 2021-2027, de 1,1 billones.

Por ahora, en su propuesta, el Ejecutivo comunitario ha preasignado por país los 655.000 millones de euros del primer pilar del plan. A España le correspondería hasta un 21,4 % del mismo: algo más de 140.000 millones, de los cuales 77.000 millones serían en subvenciones y 66.000 millones en préstamos a devolver. Es una cantidad equivalente al 11% del PIB nacional (CincoDías, 2020).

De esta manera, el nuevo instrumento denominado “Next Generation EU” se despliega en tres pilares fundamentales: ayudar a los Estados miembros a recuperarse, relanzar la economía y apoyar la inversión privada, así como aprender de la experiencia de la crisis (Comisión Europea, 2020), apoyando las inversiones y reformas, los sectores y las tecnologías clave, las cadenas de valor clave, etc., especialmente decisivos para el éxito de la doble transición ecológica y digital.



**Ilustración 28: Next Generation EU (Fuente: Comisión Europea, 2020)**

Para ello, se han marcado unos hitos temporales que llevará a Europa, desde mayo de 2020 hasta enero de 2021, a un nuevo marco financiero que ayudará a los Estados miembros a llevar a cabo ese plan de recuperación.

Viendo esto y tras analizar la importancia del ferrocarril en los planes presentes nacionales y europeos, la inversión en el ferrocarril del futuro por parte del Estado debe ser una apuesta firme y segura que potencie definitivamente este modo de transporte como un modo vertebrador para la reconstrucción y para la transición ecológica. Y es por ello por lo que la inversión en el ferrocarril encaja perfectamente en una gran cantidad de instrumentos clave que marca la Comisión Europea en este plan de reconstrucción:

- **Mecanismo de Recuperación y Resiliencia:** Subvenciones y préstamos mediante la aplicación de los planes nacionales de recuperación y resiliencia de los Estados miembros, definidos de acuerdo con los objetivos del Semestre Europeo y, en particular, las transiciones ecológica y digital y la resiliencia de las economías nacionales
- **REACT-UE – Ayuda a la Recuperación para la Cohesión y los Territorios de Europa:** Subvenciones flexibles de la política de cohesión para municipios, hospitales y empresas a través de las autoridades de gestión de los Estados miembros.
- **Apoyar la transición ecológica hacia una economía climáticamente neutra a través de los fondos de Next Generation EU:** Una propuesta para reforzar el Fondo de Transición Justa hasta los 40.000 millones de euros, con el fin de ayudar a los Estados miembros a acelerar la transición hacia la neutralidad climática.

- **Programa InvestEU reforzado**, que incluye un Instrumento de Inversiones Estratégicas: Provisión de una garantía del presupuesto de la UE para financiar proyectos de inversión a través del Grupo BEI y de los bancos nacionales de fomento

Todo el dinero recaudado mediante Next Generation EU y el nuevo presupuesto de la UE se canalizará a través de los programas de la UE hacia, entre otros, una oleada de renovación masiva para modernizar los edificios y las infraestructuras críticas de Europa.

- La inversión en una ola de renovación a gran escala, en energías renovables y soluciones de hidrógeno limpio, en transporte limpio, en alimentos sostenibles y en una economía circular inteligente tiene un enorme potencial para conseguir que la economía europea crezca.
- Invertir en una infraestructura de transporte actualizada y de alto rendimiento para facilitar las conexiones transfronterizas, como Rail Báltica, por medio de una dotación adicional de 1 500 millones para el Mecanismo «Conectar Europa».
- A partir de la experiencia adquirida en la crisis, las capacidades ampliadas de rescEU permitirán a la UE desarrollar y adquirir capacidades tanto de almacenamiento como de movilización (por ejemplo, almacenes, medios de transporte y apoyo logístico general).

Y, por último, en este mismo marco post-COVID, en los Anexos de la “Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones” se comunica que “el aumento del **transporte de mercancías por ferrocarril constituye un elemento clave** de la política de la UE orientada a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero actualmente encuentra dificultades”. El Reglamento sobre los corredores ferroviarios de mercancías tiene por objeto la mejora de la cooperación y coordinación a lo largo de un conjunto de corredores que presentan un especial potencial a la hora de desarrollar el transporte de mercancías por ferrocarril. El Reglamento (UE) n.º 913/2010 sobre una red ferroviaria europea para un transporte de mercancías competitivo entró en vigor en 2010, tras lo cual se crearon nueve corredores ferroviarios de mercancías, amén de otros dos que se añadieron posteriormente. El objetivo de esta evaluación es ofrecer una visión general completa de la aplicación del Reglamento, así como una valoración de sus efectos. Será útil para determinar las nuevas medidas a escala de la UE que hacen falta para impulsar el transporte de mercancías por ferrocarril.

Contrariamente, es de gran importancia hablar del impacto que ha tenido la COVID-19 en el **proceso de desglobalización** que desde hace años se viene evidenciando. Desde hace tiempo, existe en la cadena de suministro una tendencia a la desglobalización, que podría verse acentuada por esta crisis sanitaria. Se puede volver a una regionalización y proteccionismo, al mismo tiempo que se va a acentuar un cambio tecnológico que asegure la información, el conocimiento y el rendimiento económico. Ian Goldin, profesor de globalización y desarrollo en la Universidad de Oxford, predecía en una

conferencia TED la llegada de riesgos sistémicos mucho más virulentos en un entorno global con sociedades y sistemas entrelazados promovidos por el desarrollo continuo de las tecnologías, como la desaparición de la biodiversidad, el cambio climático, las pandemias y las crisis financieras. Un proceso en el que la economía, pero también la sociedad, la política y la cultura, tras una etapa de interacción e interdependencia mundial, se vuelven más regionales que nunca. (La Vanguardia, 2020).

Así lo ha demostrado el indicador más generalizado para medir el proceso de la globalización: el peso de las exportaciones y las importaciones sobre el PIB. Desde los años 60, este indicador ha seguido una tendencia al alza que se ha frenado en el último año y medio. En este periodo ha pasado de rondar el 23% hasta estabilizarse en torno a un 60%, y desde 2010 no ha dejado de caer. (La Vanguardia, 2020)

### 3.2.9. Cooperación internacional

RailNet Europe (RNE) es una organización que se creó en enero de 2004 por iniciativa de un grupo de Administradores de Infraestructuras ferroviarias europeos y organismos adjudicadores de capacidad (IMs/ABs) que deseaban establecer una organización europea común para facilitar sus negocios internacionales. Este objetivo se puede conseguir proporcionando soluciones que beneficien tanto a los miembros de Rail Net Europe como a las empresas ferroviarias y no ferroviarias solicitantes, así como a otras partes interesadas.

Para tal fin, otra de las funciones de RNE es proporcionar apoyo en lo relativo al cumplimiento del marco legal europeo. Esto implica desarrollar procesos de negocio internacional, plantillas, manuales y guías.

### 3.2.10. Reto de la red de mercancías para hacerla más atractiva

Como se viene hablando en el resto del TFM, aunque muchos son los intereses, ventajas y políticas llevadas a cabo para el fomento del transporte de mercancías, la gestión y la red presentan una serie de deficiencias que conlleva que el ferrocarril no termine de despuntar para este tipo de uso. Pero ¿por qué no se está consiguiendo en España? El ferrocarril español de mercancías tiene una gran cantidad de obstáculos para la prestación de servicios de larga distancia, como bien decía Juan José Montero Pascual en la conferencia Basque Rail Way 2020 (BasqueMobility, 2020)

Los siguientes puntos, tratan de contestar a la pregunta:

- Es necesaria una mejora de la infraestructura y una mejora de la gestión de la circulación permiten trenes como los que circulan en Europa, de 750 metros de longitud, compuesto por 34 vagones de 20 metros cada uno (más locomotora). De esta manera, aumentando la capacidad de los trenes, se consigue una mayor competitividad.
- Teniendo en cuenta que el transporte por carretera tiene más flexibilidad para servir un transporte puerta a puerta, y con mayor fiabilidad, es necesario que

el transporte por ferrocarril sea más atractivo en coste que la carretera para ser competitivo (Awad Núñez, 2015).

- De cara a optimizar la cadena logística, además de hacer competir a ambos modos es necesario hacerlos colaborar a través de la potenciación de cadenas de transporte intermodal (Awad Núñez, 2015) con una colaboración multicliente.
- El viaje en ferrocarril debe aumentar sus distancias, ya que, si hay acarreo en origen y destino para utilizar el tren, cuanto mayor distancia recorra en ferrocarril, más competitivo resulta frente al camión (Awad Núñez, 2015).
- Hay una gran cantidad de obstáculos en la infraestructura (Awad Núñez, 2015), que necesitan ser eliminados mediante una apuesta decidida para mejorar la red ferroviaria:
  - Longitud de los apartaderos.
  - Longitud máxima de circulación.
  - **Gálivos** (objeto de este TFM).
  - Problemas de interoperabilidad internacional.
  - Limitaciones de las terminales ferroviarias existentes.
  - Acceso a la red ferroviaria de los competidores privados.
  - Dificultades administrativas.
  - Velocidad media de la línea.
  - Electrificación.
- Es importante la colaboración entre los diferentes organismos que trabajaran en esta red transeuropea para que todo funcione, que haya una cooperación real entre operadores a todos los niveles. Hay un mercado ahí, pero es necesaria una estabilidad, una capacidad y unas condiciones para operar trenes, como dijo Matthias Meyer en la conferencia Basque Rail Way 2020.
- Los incentivos para el tráfico transfronterizo en mercancías, larga distancia, no están bien alineados, y sin incentivos bien alineados, los operadores no apuestan realmente por la modificación necesaria para llegar a ese objetivo final de multiplicar el tráfico (Juan José Montero, 2020). Los incentivos no están alineados, priorizan el transporte de viajeros frente al de mercancías, haciendo que el gestor de infraestructura priorice en este sentido.
- Han premiado las ideologías cortoplacistas. Ha habido decisiones políticas e institucionales que no han sido corresponsables con el mandato europeo de hacer realidad ese mapa europeo de red transeuropea.

- Es necesario establecer una normativa común europea, no una normativa por cada país. Se pierde mucho tiempo y dinero en trámites fronterizos, procesos de homologación, licencias de maquinistas, etc.
- Es necesario reducir los costes de operación para conseguir que el ferrocarril sea más competitivo en costes frente a otros modos de transporte.

### **3.3. Líneas de mercancías en España**

#### **3.3.1. Estrategia logística de España**

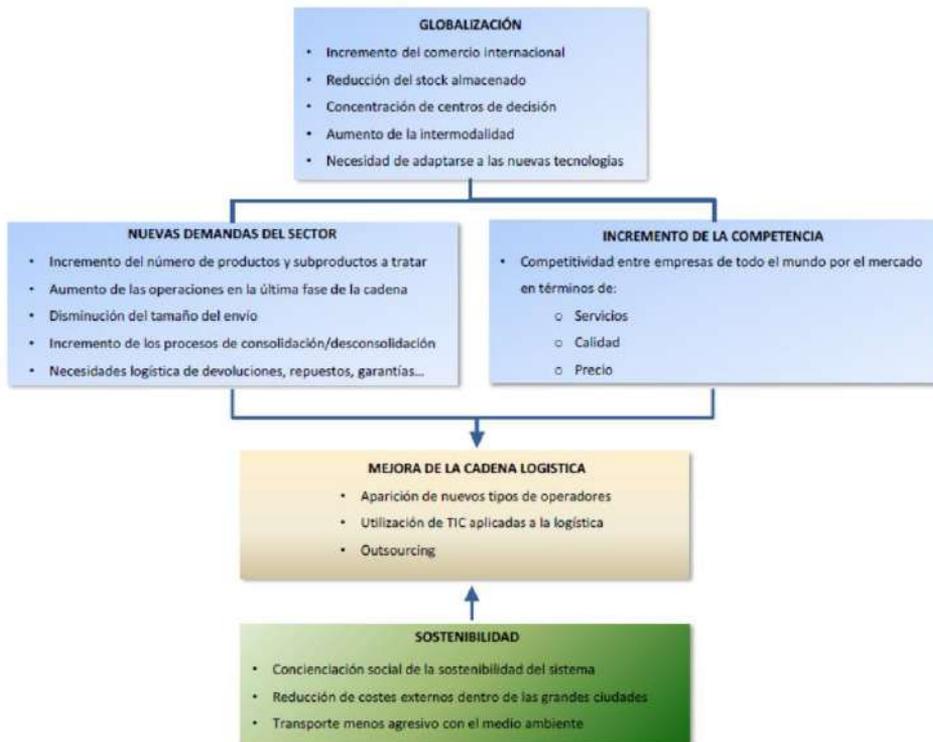
Las actividades logísticas conforman el sistema de enlace entre las materias primas, la producción y los mercados. La misión fundamental de la logística es por tanto optimizar un flujo de material regular a través de una red de enlaces de transporte y de centros del almacenaje (Ministerio de Fomento, 2013).

En el año 2013, el Ministerio de Fomento publica el documento “Estrategia Logística de España” en el cual se analiza y diagnostica la logística en el país, los objetivos planteados a nivel nacional e internacional, así como las propuestas de actuación e implantación de una estrategia.

La Estrategia Logística de España define los siguientes objetivos para el sector de la logística y el transporte de mercancías en España:

- Impulsar el sector logístico español como uno de los motores de nuestra economía.
- Mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de transporte en el marco de la cooperación entre los distintos modos.
- Desarrollar una red intermodal que permita realizar trayectos entre nodos y prestar servicios logísticos completos e integrados.
- Potenciar el papel de España como puerta de entrada, centro de tratamiento y distribución de mercancías intercontinentales para Europa.

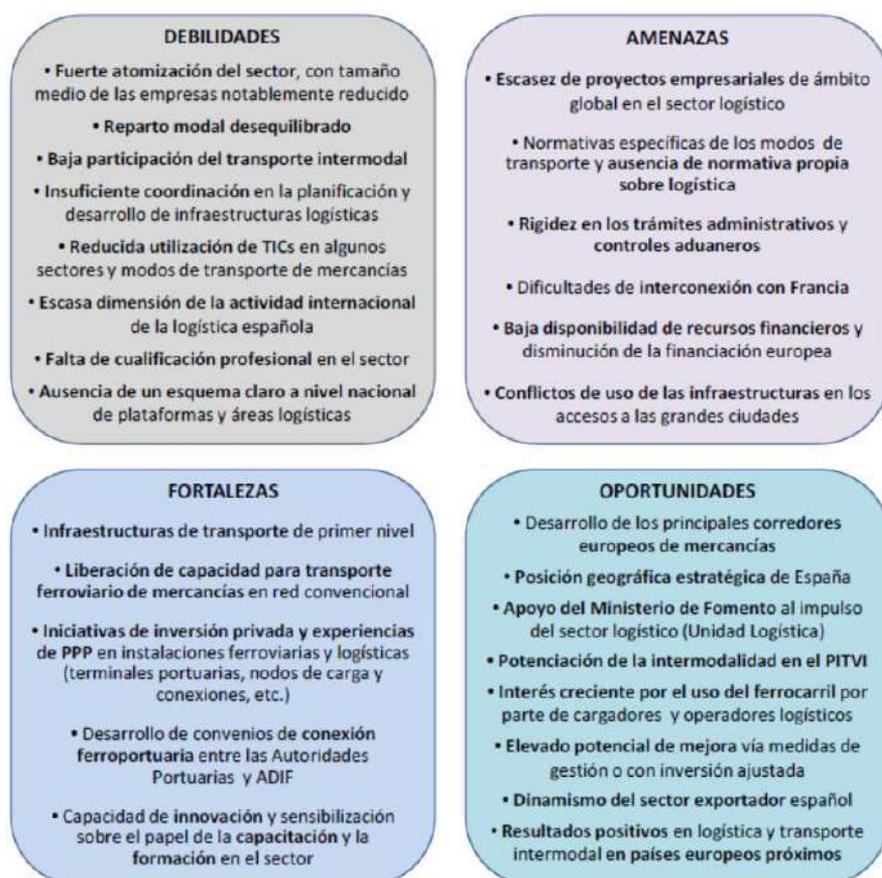
La globalización y la apertura de nuevos mercados en la economía mundial, junto con la deslocalización industrial y la creciente competitividad, han provocado un aumento de los flujos y distancias de transporte (Ministerio de Fomento, 2013).



**Ilustración 29: Tendencias actuales en la logística (Fuente: Ministerio de Fomento, 2013)**

Uno de los grandes retos a los que se enfrenta el sector es la comodalidad (uso eficaz de los diferentes modos de transporte). La correcta combinación de los modos de transporte es la clave para conseguir un transporte más eficiente y sostenible, de manera que cada modo de transporte se emplee en el eslabón de la cadena de transporte que permita optimizar la eficiencia de la cadena global.

En el diagnóstico que se realiza en este documento, se analiza una matriz DAFO (Ilustración 27) bastante interesante para analizar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de la logística en España, para a partir de ahí, a partir de conocer los puntos flojos y fuertes, establecer un plan de acción con una serie de líneas estratégicas para mejorar la logística en España en función de las directrices nacionales e internacionales.



**Ilustración 30: Análisis DAFO de la logística en España (Fuente: Ministerio de Fomento, 2013)**

Para conseguir esos objetivos de mejora marcados con anterioridad, el Ministerio propone una serie de líneas estratégicas de actuación que se concreta en 66 puntos, de los cuales 18 son prioritarios de cara a obtener unos resultados tangibles en el corto plazo:

- El fortalecimiento de la Unidad Logística, reforzando su composición y definiendo sus funciones para la implementación de la estrategia.
- El desarrollo de una normativa específica para la logística, que dote al sector de un cuerpo jurídico propio.
- El impulso a la liberalización del transporte ferroviario de mercancías, ya liberalizado.
- La mejora de la formación del sector en coordinación con los Ministerios de Educación y de Empleo, y con las comunidades autónomas.

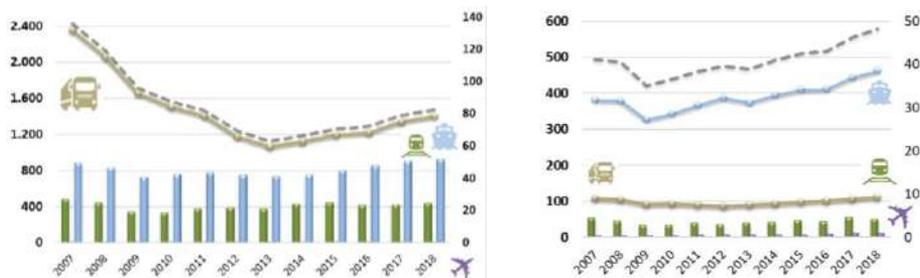
- La elaboración de un código de buenas prácticas para dotar al sector de una mayor confianza y transparencia.
- La creación de una ventanilla única para la tramitación administrativa que aligere y armonice la documentación requerida en las cadenas de transporte nacional e internacional.
- La integración de la Logística en el Observatorio del Transporte, para que integre y analice todos los datos del sector. Pasará a denominarse Observatorio del Transporte y la Logística.
- Análisis de las capacidades de carga en el transporte por carretera.
- La coordinación de calendarios de restricciones al transporte de mercancías por carretera, que armonice la heterogénea situación actual.
- La puesta en servicio de Autopistas Ferroviarias, previo análisis de los potenciales tanto nacionales como internacionales.
- La optimización de los modelos de gestión de terminales intermodales, que redunde en una mayor eficiencia y competitividad de los mismos.
- El establecimiento de acuerdos con los sectores logístico e industrial para potenciar el uso del ferrocarril.
- El incremento de la competitividad en los puertos, mediante decisiones como la reducción de tasas que está contemplada en el Proyecto de Ley de Presupuestos que se tramita en el Parlamento.
- El análisis de la puesta en servicio de nuevas Autopistas del Mar, impulsando los correspondientes acuerdos con los respectivos países de la Unión Europea.
- Completar la definición del mapa logístico de España.
- La adaptación de los principales corredores ferroviarios para transporte de mercancías, buscando una participación más activa del ferrocarril en la cadena de transporte, tanto de nivel nacional como internacional.
- La mejora de los accesos terrestres a los puertos, como nodos básicos de conexión multimodal.
- La conexión de forma directa de los puertos con terminales interiores, mejorando de la conectividad con su hinterland.

### 3.3.2. Reparto modal

El transporte de mercancías, tanto nacional como internacional, lleva desde el año 2013 con una tendencia al alza de manera constante.

En el año 2018, según los datos del Observatorio de Transporte y Logística de España, se registró un total de 1.472 millones de toneladas (movilidad interior) y 577 millones

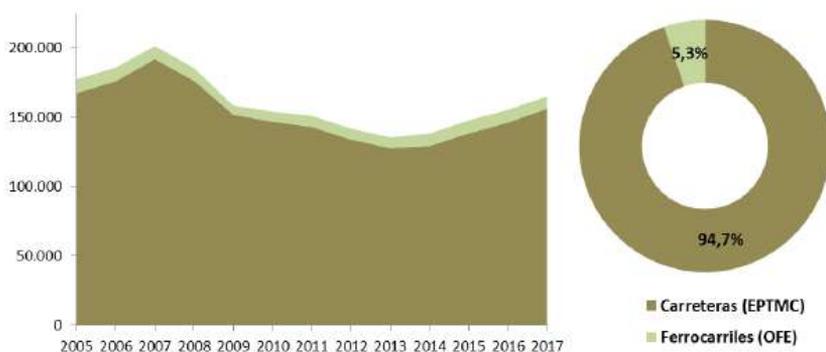
de toneladas (movilidad exterior), con un crecimiento del +4,4% y +4,2%, respectivamente, con respecto al año 2017.



**Ilustración 31: Evolución transporte de mercancías, interior y exterior (Fuente: OTLE, 2018)**

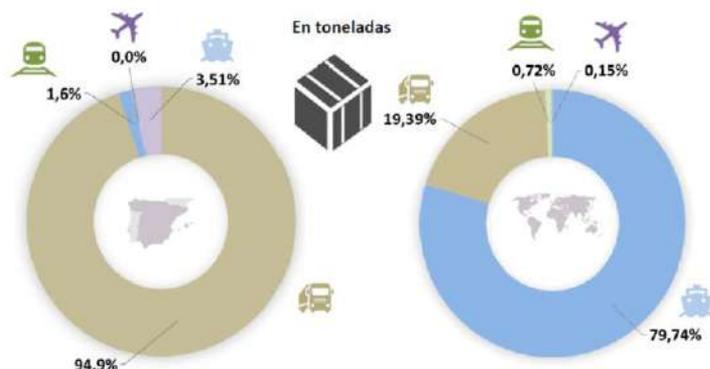
Analizando los repartos modales para la movilidad de mercancías se observa que, en la distribución interior de mercancías en España, el transporte por carretera tiene un papel preponderante.

En particular, si se analiza los modos terrestres (carretera y ferrocarril) con los datos de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC), los vehículos pesados representan más del 94% del total de las toneladas-kilómetro producidas en España, como muestra el siguiente gráfico (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019), siendo por tanto 18 veces superior la participación de la carretera frente al ferrocarril.



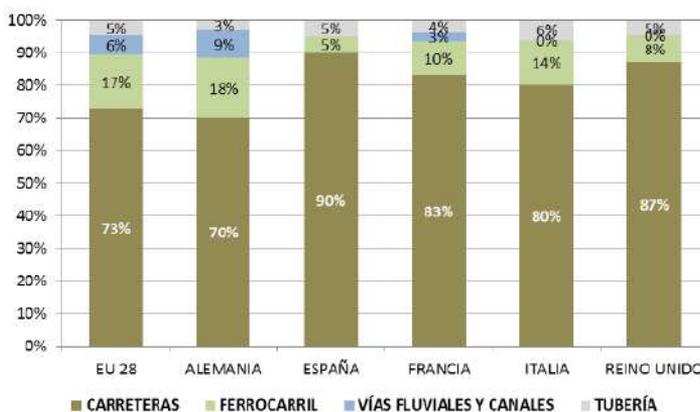
**Ilustración 32: Cuota modal del transporte de mercancías en ámbito nacional (millones de toneladas-kilómetro) (Fuente: OTLE, 2018)**

Además, si se analiza el transporte de mercancías como toneladas brutas transportadas en ámbito nacional, se puede observar que incluso el transporte marítimo supera su participación modal al uso del ferrocarril como modo de transporte de mercancías con un reparto modal del 3,51% frente al 1,6%, transporte marítimo que despunta para el transporte exterior de mercancías al resto del mundo.

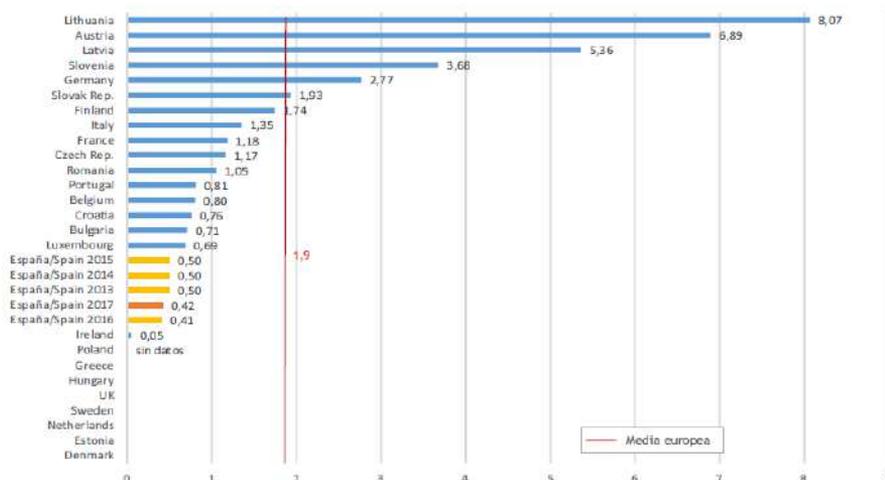


**Ilustración 33: Reparto modal del transporte de mercancías, interior y exterior (Fuente: OTLE, 2018)**

Esta baja participación del ferrocarril para el transporte de mercancías en nuestro país no tiene unos resultados acordes al transporte de mercancías en Europa. Observando datos publicados por la Comisión Europea en la publicación *EU Transporte in Figures* (Comisión Europea, 2019) se observa que es bastante inferior la participación del ferrocarril en el reparto modal (2016) en comparación con los principales países europeos (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019), con una media de participación del 17% europea frente al 5% español. Esta gran diferencia en el reparto modal es consecuencia de todas las barreras que tiene el transporte de mercancías en España, como se viene contando en el resto del TFM. Es por ello, que el ferrocarril español tiene que hacer importantes cambios en el modelo de transporte para conseguir equipararse a los países europeos y conseguir un reequilibrio modal.



**Ilustración 34: Comparación de cuotas modales del transporte nacional de mercancías (tn-km) (Fuente: OTLE, 2018)**



**Ilustración 35: Mill. toneladas-kilometro por kilómetro de red, 2017 (Fuente: UIC, 2018)**

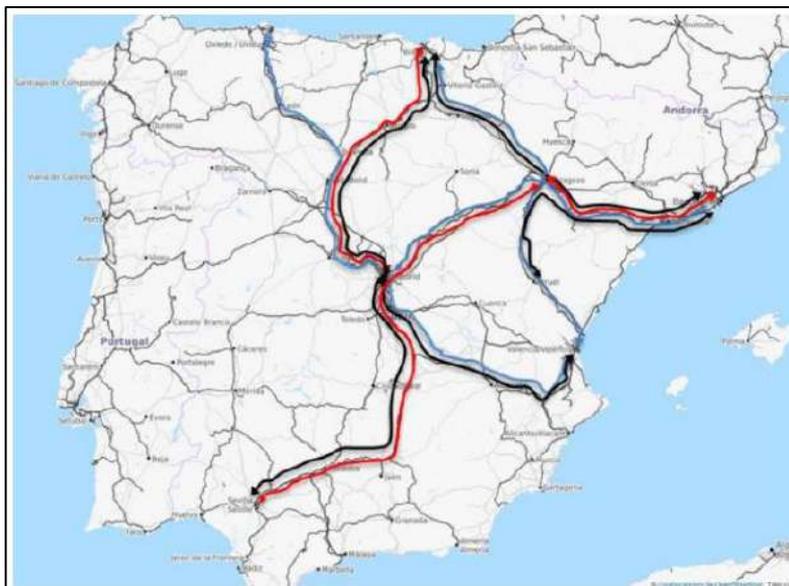
Si es cierto que hay que destacar que, en el transporte internacional, el crecimiento del transporte por ferrocarril ha aumentado en +31,2% (toneladas), tendencia que también se puede observar en la cuota de transporte intermodal, en la que el ferrocarril predomina con un crecimiento anual del 39,4% en 2018 frente a otros modos de transporte como la carretera que permanece estable (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019).



**Ilustración 36: Variación en la cuota del transporte intermodal (Fuente: OTLE, 2018)**

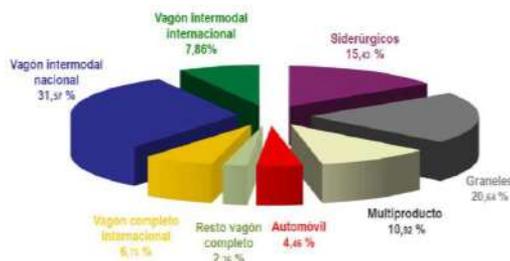
En cuanto a los tráficos de media y larga distancia, los centros de producción del eje mediterráneo tienen un papel más destacado, como se aprecia en el siguiente mapa. Medidos en toneladas netas, los principales flujos son Barcelona-Zaragoza (más de 1.700.000 toneladas), objeto de este TFM, Madrid-Valencia (más de 1.500.000),

Tarragona-Teruel (más de 1.000.000) y Asturias-Valencia (casi 1.000.000) (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019).



**Ilustración 37: Principales flujos de transporte ferroviario de mercancías en medio y largo recorrido (tn-km) (Fuente: OTLE, 2018)**

Además, cabe destacar que en 2018 el reparto de toneladas netas por productos transportados destacaba el vagón intermodal con una participación del 31,57% (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020).



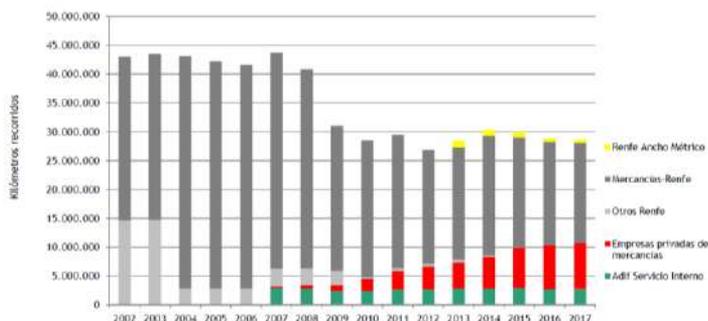
**Ilustración 38: Reparto toneladas netas por producto (Fuente: OTLE, 2018)**

### 3.3.2.1. Operadores: liberalización de las mercancías

Con el fin de estimular la competitividad del sector ferroviario europeo, crear un espacio ferroviario europeo único, y mejorar estos datos presentados, la Comisión Europea ha ido adoptando una serie de decisiones estratégicas con el fin de fomentar el desarrollo de una infraestructura ferroviaria eficaz, consiguiendo la movilización de fondos para el

desarrollo, cumplimiento de garantías y creación de redes especializadas; establecer un mercado ferroviario abierto que preserve la competencia y garantice la libre prestación de servicios (Awad Núñez, 2015).

En la Red Ferroviaria de Interés General operan en la actualidad las siguientes empresas con servicios de mercancías: Renfe Operadora, Continental Rail, Acciona Rail, Tracción Rail, Captrain España, Transfesa, Logitren, Transita Rail, Ferroviario, Low Cost Rail y Medway, operando con un total del 26% de los trenes circulados, el 34,3% de los kilómetros recorridos (OFE, 2017) y el 36,7% de las toneladas-kilómetro (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019).



**Ilustración 39: Recorrido anual de los trenes de mercancías (Fuente: OFE, 2017)**

### 3.4. Las autopistas ferroviarias

#### 3.4.1. ¿Qué son?

Una Autopista Ferroviaria se entiende como un sistema de transporte combinado en el que los vehículos de carretera (camiones) son transportados por ferrocarril en servicios lanzadera empleando material rodante y terminales específicamente acondicionados según la tipología empleada (Ministerio de Fomento, 2015).

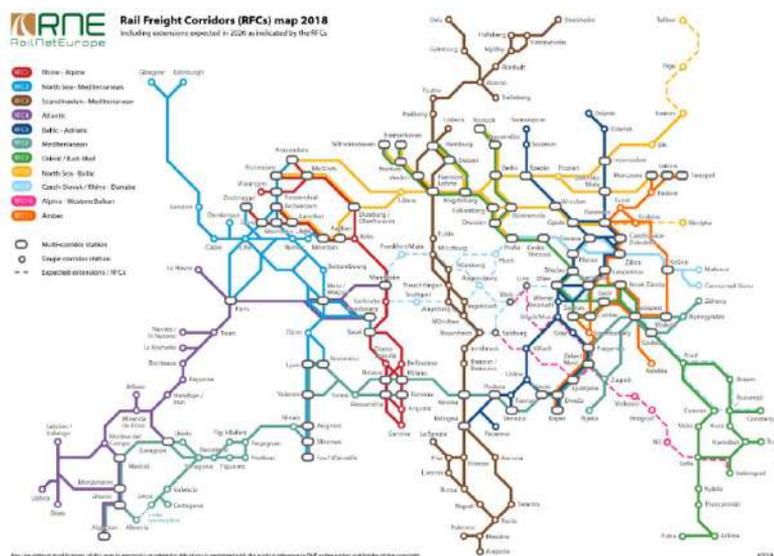
El transporte por carretera y por ferrocarril, llamados en un principio a competir, están destinados a entenderse y a colaborar gracias a las llamadas autopistas ferroviarias. Este elemento resulta idóneo para el perfil productivo y exportador de nuestro país, ya que permite optimizar las restricciones de los modos como, por ejemplo, los tiempos de conducción por carretera y de transporte ferroviario (Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2019).

Después de analizar las necesidades presentes y futuras en la planificación ferroviaria en un nuevo marco europeo, para conseguir una forma más eficiente del transporte de mercancías mediante la intermodalidad, reequilibrio modal, etc., se determina que para que todo esto sea posible, los corredores de mercancías de la Red Básica planteados desde la Unión Europea deben estar conformados por autopistas ferroviarias que den servicio a ello.

### 3.4.2. Corredor Mediterráneo

El Reglamento (UE) Nº 913/2010 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 22 de septiembre de 2010, sobre una red ferroviaria europea para un transporte de mercancías competitivo, entró en vigor el 9 de noviembre de 2010. Este reglamento requiere que los estados miembros establezcan Corredores de Mercancías orientados al mercado internacional para alcanzar los siguientes objetivos (ADIF, 2020):

- Crear una red ferroviaria para un transporte de mercancías competitivo, mejorando la eficiencia del transporte ferroviario de mercancías en relación con otros medios de transporte.
- Reforzar la cooperación entre administradores de infraestructuras en aspectos clave como la asignación de surcos, el despliegue de sistemas interoperables y el desarrollo de la infraestructura.
- Encontrar el equilibrio entre el tráfico de mercancías y el de pasajeros a lo largo de los Corredores de Mercancías, proporcionando la capacidad adecuada para las mercancías de acuerdo con las necesidades del mercado y asegurando el cumplimiento de objetivos comunes de puntualidad para los trenes de mercancías.
- Promover la intermodalidad entre el ferrocarril y otros medios de transporte integrando las terminales en los procedimientos de gestión de los corredores.



**Ilustración 40: Red Transeuropea ferroviaria. Corredores previstos (Fuente: Rail Net Europe, 2018)**

Adif participa en dos Corredores Ferroviarios Europeos de Mercancías, el Atlántico y el Mediterráneo (objeto de este TFM). Junto con otros 7 socios de 5 países, forma parte del Corredor Mediterráneo: Administradores de infraestructuras de España –Adif-, Francia–SNCF Réseau-, Italia –RFI-, Eslovenia –ASZ-, Hungría –MAV- y LFP, S.A. y adjudicatarios de capacidad de Eslovenia –SZ- Hungría y CROACIA HZ Infrastruktura (Adif, 2020).

El **Corredor Mediterráneo** conecta Madrid, Algeciras y los principales puertos de la costa este Española con Europa a través de Francia, suma más de 7.000 Km. de vías a lo largo del eje Almería-Valencia / Algeciras / **Madrid-Zaragoza** / Barcelona-Marseille-Lyon-Turin-Milán-Verona-Padua / Venecia-Trieste / Oper-Ljubljana-Budapest-Záhony (Mediterranean Rail Freight Corridor, 2020).

Este Corredor Mediterráneo, formado por un conjunto de autopistas ferroviarias, conecta todos los territorios del Mediterráneo desde Francia hasta Algeciras, conectando puertos y ciudades, impulsando el transporte de mercancías por ferrocarril y mejorando la competitividad de sectores estratégicos en la economía (Adif, 2020), siendo un instrumento para la coordinación de la Red de Transeuropea de Transporte.

Se centra en la integración modal, la interoperabilidad y el desarrollo coordinado de las infraestructuras.

- Permite un enfoque coordinado y sincronizado de inversiones en infraestructura.
- Abarca los flujos de larga distancia más importantes de la red básica y está destinado a mejorar el enlace transfronterizo europeo.
- Es multimodal y cruza varios países.



**Ilustración 41: Mapa del Corredor Mediterráneo (Fuente: Rail Net Europe, 2018)**

### 3.4.3. Características de las autopistas ferroviarias

Para conseguir convertir una línea convencional en una autopista ferroviaria, hay una serie de requisitos clave que se deben adecuar para que la infraestructura sea considerada como tal:

- Material rodante intermodal.
- Instalaciones/terminales logísticas intermodales.
- Migración del ancho ibérico al ancho estándar de forma paulatina.
- Modernización de las instalaciones de seguridad y comunicaciones.
- Adecuación de gálibos para material rodante compatible.
- Ampliación de vías de apartado a 750 metros.
- Electrificación de las líneas.
- Plataforma con vía doble.
- Carga por eje de 22,5 toneladas.
- Velocidad de la línea mínima de 100 km/h.

La normativa de aplicación a todo el ámbito competente a la Autopista Ferroviaria se señala a continuación:

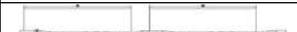
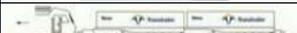
- Instrucción Ferroviaria de gálibos, Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio.
- Norma UNE EN-15273-3 – Aplicaciones ferroviarias, Parte 3: Gálibo de implantación de obstáculos.
- Fichas UIC 505-1, 571-4 y 596-5.
- Directiva 70/156/CEE, de 6 de febrero de 1970, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre la homologación de vehículos a motor y de sus remolques.
- Directiva 96/53/CE del Consejo, de 25 de julio de 1996, por la que se establecen, para determinados vehículos de carretera que circulan en la Comunidad, las dimensiones máximas autorizadas en el tráfico nacional e internacional y los pesos máximos autorizados en el tráfico internacional.
- Directiva 97/27/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de julio de 1997, relativa a las masas y dimensiones de determinadas categorías de vehículos de motor y de sus remolques y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE.
- Directiva 2008/57/CE sobre la interoperabilidad del sistema ferroviario dentro de la Comunidad – Especificación Técnica de Interoperabilidad – Subsistema de infraestructura del sistema ferroviario convencional.

- Directiva 2015/719 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2015, que modifica la Directiva 96/53/CE del Consejo.

### 3.4.3.1. Tecnologías en autopistas ferroviarias

En primer lugar, a la hora de estudiar las distintas tecnologías de Autopista Ferroviaria (AF) existentes en el mercado, se ha realizado una clasificación en familias atendiendo a la metodología que emplea cada una de ellas en la carga y descarga de los semirremolques en los vagones, ya sea por circulación rodada (Roll On – Roll Off), por desplazamiento vertical mediante dispositivos auxiliares (Lift On – Lift Off) u otra distinta a éstas. En función de la tecnología de Autopista Ferroviaria que se trate, el transporte se puede realizar Acompañado o No Acompañado. En el primer caso, el conductor del camión realiza el trayecto en el mismo tren que transporta su vehículo en un coche de viajeros dispuesto para este fin, mientras que en el caso del transporte No Acompañado solamente se carga el semirremolque y, por tanto, el conductor del camión no viaja en el tren (Ministerio de Fomento, 2015).

En la operación de carga/descarga rodada los semirremolques acceden a la plataforma del vagón junto a las cabezas tractoras, en el caso de transporte Acompañado, desacoplándose después si el modo de transporte es No Acompañado o, en su defecto, mediante un tractor presente en la terminal (Ministerio de Fomento, 2015). La tecnología empleada puede clasificarse en familias, para facilitar su comprensión, de la siguiente manera:

Familia	Figura	Tecnología de AF	Acompañado/No acompañado
Ro-Ro continuo desde extremo		RoLa (Rollende Landstrasse)	Acompañado
		Vagones Vossloh-Giribets	No acompañado
Lo-Lo		Vagones Poche	No acompañado
		Nikrasa	No acompañado
Ro-Ro discontinuo desde lateral		Modalohr AFA	Ambos
		Modalohr NA	No acompañado
		Modalohr UIC	No acompañado
		MegaSwing	Ambos
		Flexiwaggon	Ambos
		CargoBeamer	No acompañado
Otros		Eco-Picker	Ambos
		Bimodal	No acompañado

**Ilustración 42: Clasificación de la tecnología de AF (Fuente: Elaboración propia)**

Al igual que sucede con el uso de los trenes convencionales, hay una gran cantidad de fabricantes que están desarrollando este tipo de sistemas (con sus diferencias entre ellos). Analizando cada tecnología más en profundidad (Ministerio de Fomento, 2015) de los sistemas que dan servicio en otras rutas, se obtiene lo siguiente:

1. Ro-Ro continuo desde extremo:

a. **RoLa** (Rollende Landstrasse):

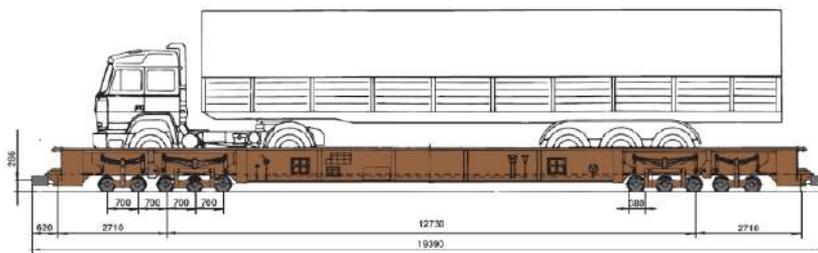
Este sistema también se le conoce como “carretera rodante” y su nombre se debe a que se utilizan una serie de plataformas de suelo bajo con bogies dispuestos de forma continua y formados por ruedas pequeñas de máximo 410 mm. El tren termina siendo una gran plataforma lineal, continua y plana, mediante la unión de los vagones.

Los camiones acceden al tren de forma unidireccional, junto con su cabeza tractora, mediante la colocación de una rampa móvil habilitada para ello y dispuesta en el extremo del tren. De igual modo, pero inverso, sucede para la descarga de los camiones tras el desenganche de la locomotora y del coche para los conductores. Tras la locomotora, hay un coche de viajeros para que puedan viajar los conductores de los camiones de una forma más segura y cómoda. De esta forma, se consigue la tipología de transporte acompañado.



**Ilustración 43: Tecnología RoLa (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

Debido a sus pequeñas ruedas, la velocidad máxima se restringe a 100 km/h debido a su rápido desgaste y altas temperaturas, aumentando el coste de mantenimiento. El tiempo de carga/descarga conlleva unos 15 minutos más otros 25 minutos de comprobación del tren, aunque en caso de problemas con los camiones, es posible el aumento de este tiempo.



**Ilustración 44: Vagón de 10 ejes de plataforma baja (Fuente: Greenbrier, 2015)**

En cuanto a la terminal ferroviaria, únicamente es preciso la necesidad de un tramo de vía en placa para la circulación de los camiones y una rampa móvil que permita el acceso de los camiones a la plataforma continua.



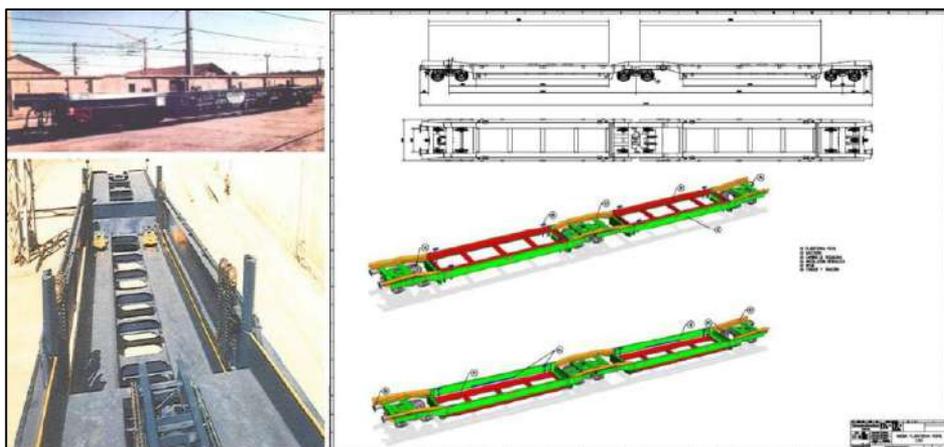
**Ilustración 45: Camiones en Friburgo de Brisgovia (Fuente: Swissinfo.ch, 2020)**

**b. Vagones Vossloh-Giribets:**

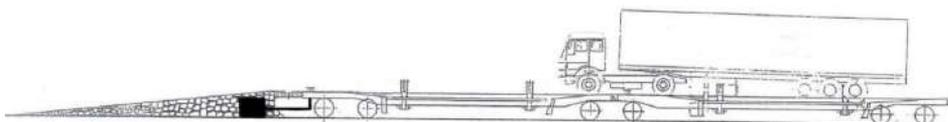
Estos vagones están compuestos por plataformas de vagón doble (sobre 3 bogies) para la carga de semirremolques y tiene la particularidad de que, por medio de un sistema hidráulico, la plataforma tiene la utilidad de mantener una posición alta (posición de carga) y una baja (posición de marcha) para reducir gálibo.

La carga de los semirremolques puede realizarse tanto de forma rodada con ayuda de la cabeza tractora (parachoques plegado y marcha atrás) como por medio de grúas pórtico/reachsteaker, con la necesidad de que el semirremolque esté reforzado. En caso de ser por forma rodada, posteriormente la cabeza tractora sale de la plataforma, por lo que es un sistema de transporte no acompañado, si bien las cabezas tractoras pueden ir transportadas en otros vagones del mismo tren.

La velocidad máxima con este tipo de tecnología es de 100 km/h con carga.



**Ilustración 46: Vagones porta-semirremolques Vossloh España (Fuente: Vossloh, 2015)**



**Ilustración 47: Carga del semirremolque en vagones Vossloh (Fuente: Vossloh, 2015)**

## 2. Lo-Lo:

### a. **Vagones Poche:**

Esta tipología de autopista ferroviaria necesita el apoyo de grúas pórtico o reachsteaker con la que depositar los semirremolques (fuertemente reforzados) para ser colocados sobre los vagones en plataformas con cajas rebajadas.



**Ilustración 48: Operación con vagones Poche (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

Es un sistema que no permite el acompañamiento y que sí permite el transporte combinado de contenedores, cajas móviles, UTIs (Unidad de Transporte Intermodal), etc. Si bien, este transporte combinado es una ventaja frente a otros sistemas, la imposibilidad de transportar la cabeza tractora o la necesidad de utilizar grúas pórtico la convierten en un sistema más vulnerable y lento.

También, otra de las ventajas que posee, es que es más flexible en cuanto que permite la carga y descarga en estaciones intermedias.



**Ilustración 49: Carga mediante grúa pórtico y reachstacker (Fuente: Hyster, 2020)**

### b. **Nikrasa:**

La tecnología Nikrasa es igual que la anterior (vagones Poche) con la diferencia de que en esta no es necesario que los semirremolques estén reforzados, evolución tecnológica buscando solución dada la baja existencia de estos semirremolques reforzados. En este caso, en la terminal se dispone de una plataforma que, tras el posicionamiento del semirremolque sobre ella, es elevada hasta su posición final en el vagón.



**Ilustración 50: Carga de un semirremolque con tecnología Nikrasa (Fuente: Nikrasa, 2020)**

3. Ro-Ro discontinuo desde lateral:

a. **Modalohr:**

Esta tecnología tiene una diferencia con respecto a las anteriores expuestas y es que los camiones acceden a los vagones de forma horizontal, oblicua de  $31^\circ$ , al eje del tren, mediante la cabeza tractora y sin utilización de medios auxiliares, salvo la necesidad de rampas o muelles acondicionados para este sistema.

Esto es posible gracias al giro de la caja del vagón que gira respecto a un eje vertical. Puede transportar tanto el semirremolque separado como el conjunto completo del camión (semirremolque y cabeza tractora), en función del tipo de tecnología Modalohr que se utilice.



**Ilustración 51: Sistema Modalhor (Fuente: Lohr Industrie, 2020)**

Como se puede observar, este sistema dota al proceso de carga de camiones de un rendimiento muy alto dada la independencia del acceso que tiene cada camión a la plataforma y permite la posibilidad de la integración de transporte combinado.

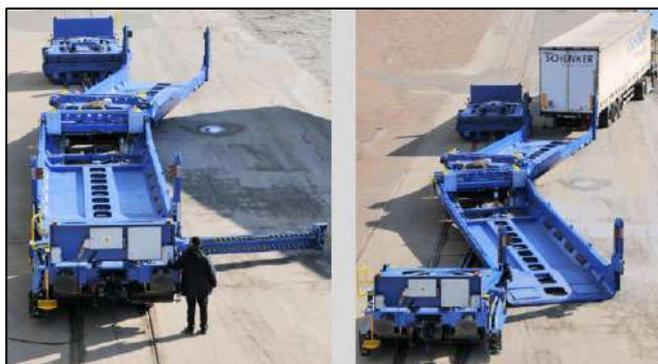
Además, la relación entre toneladas netas y toneladas brutas remolcadas más eficiente se produce con la tecnología Modalohr No Acompañado frente a cualquier otro tipo de tecnología.

**b. MegaSwing:**

Es un sistema creado como variante de la tecnología Modalohr, con la que comparte características en términos de la operación de carga/descarga de semirremolques. Sin embargo, esta operación se realiza con dispositivos hidráulicos cargados en el vagón, lo que incrementa el coste con respecto a Modalohr y a su vez aumenta la flexibilidad de su uso al no depender de terminales adaptadas específicamente a estos vagones.

Consiste en un vagón con plataforma baja articulada que permite manipular lateralmente la zona sobre la que reposa el semirremolque. Éste se enclava en una quinta rueda similar a la de las cabezas tractoras y sólo requiere una zona de vía en placa y alimentación eléctrica. Es posible el transporte acompañado como no acompañado.

Una desventaja de esta tecnología es que la velocidad de la operación de carga se ve afectada por la necesidad de realizarla marcha atrás.



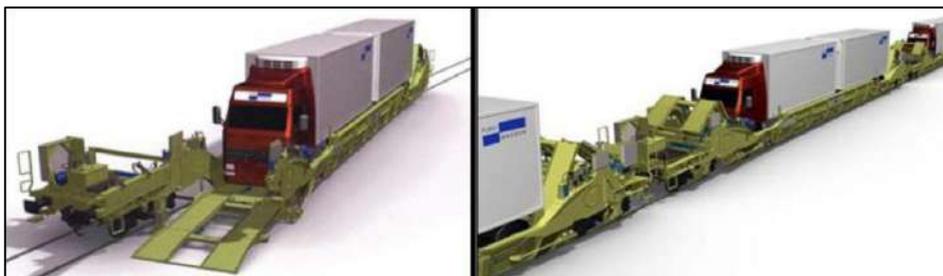
**Ilustración 52: Carga de semirremolque con tecnología MegaSwing (Fuente: Kockums Industrier, 2020)**

**c. Flexiwaggon:**

Esta tecnología consiste en un vagón articulado que permite la carga/descarga de camiones en cualquier sitio, con el único requisito de tener un tramo de vía en placa que permita a los camiones acceder al vagón a través de una rampa desplegable equipada en el mismo.

Esta tecnología no solo es apta para el transporte de camiones y semirremolques, sino también de autobuses, coches, contenedores, cajas móviles, etc., teniendo una flexibilidad considerable en este aspecto.

Los vagones tienen integrado todo el equipamiento necesario para las operaciones de carga/descarga. No requiere equipamiento, medios o instalaciones específicos, por lo que puede operar prácticamente en cualquier terminal estándar.



**Ilustración 53: Carga de semirremolque con Flexiwaggon (Fuente: Flexiwaggon AB, 2020)**

Además, las velocidades que se pueden alcanzar con esta tecnología superan los 160 km/h, mucho mayor que el resto, y realizando la carga/descarga completa en 7 minutos gracias a la independencia de cada plataforma con el resto de los vagones.



**Ilustración 54: Carga de un autobús con tecnología Flexiwaggon (Fuente: Flexiwaggon AB, 2020)**

**d. CargoBeamer:**

Esta tecnología destaca por estar equipada para el transporte horizontal (carga) usando carriles perpendiculares a las vías. CargoBeamer es una tecnología que, al igual que la tecnología Nikrasa, permite el transporte de todo tipo de semirremolques, incluso aquellos que no son aptos para su manipulación con grúa.

La tecnología CargoBeamer está conformada por “cestas” sobre las cuales el vehículo tractor posiciona el semirremolque, desenganchándose una vez éste está correctamente colocado. La terminal, usando carriles perpendiculares a la vía, mueve estas cestas lateralmente hasta colocarlas en el vagón. La instalación más recomendable es equipar las terminales con carriles perpendiculares a ambos lados de la vía férrea de manera que varios vagones puedan ser cargados/descargados simultáneamente.

Además, tiene cierta flexibilidad, ya que no es necesario disponer de estos carriles. Este proceso se puede realizar del mismo modo que Nikrasa mediante elevación con grúas.



**Ilustración 55: Carga de un semirremolque con CargoBeamer (Fuente: CargoBeamer, 2020)**

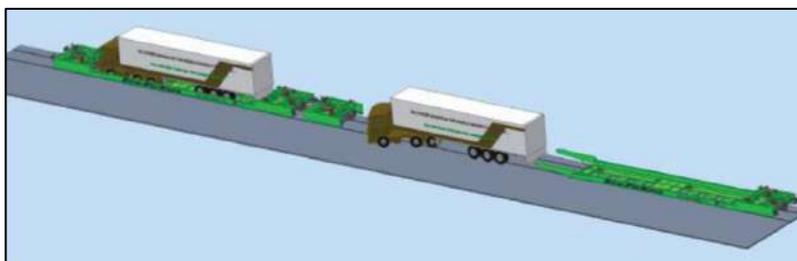
4. Otros:

a. **Eco-Picker:**

El sistema Eco-Picker es un prototipo de tecnología desarrollado por la compañía MetalSines Balkan en Portugal, válido para transporte acompañado y no acompañado.

Consiste en un sistema de plataformas sobre las que se colocan los camiones de manera similar a la tecnología RoLa, pero con carga individualizada de los mismos. Estos vagones no necesitan equipamiento auxiliar, instalaciones o fuentes de energía para operar. Utilizan componentes estándar, no tienen elementos específicos y tampoco necesitan equipamiento o medios para la carga/descarga en las terminales.

Es un vagón "insertable con acople" remolcado o empujado por una locomotora, sin sistemas hidráulicos, neumáticos o eléctricos. Se caracteriza por su bajo coste de construcción y mantenimiento y por la simplicidad de operación.



**Ilustración 56: Carga de un camión con tecnología Eco-Picker (Fuente: Metalsines, 2020)**

b. **Bimodal:**

El sistema Bimodal se constituye de un semirremolque de carretera, fuertemente reforzado, que incorpora un elemento de apoyo sobre el bogie ferroviario y mecanismos para la elevación y retracción de la suspensión neumática, posibilitando así su

circulación sobre vías férreas, y un elemento de conexión con semirremolques contiguos, de manera que se puedan formar trenes.

Permite la circulación ferroviaria y la tracción, sin necesidad de estructura de vagón, teniendo la ventaja de la reducción de la tara remolcada por la locomotora.



**Ilustración 57: Tren formado por una estructura bimodal (Fuente: Rail Runner, 2020)**

En la actualidad existen tres tecnologías principales que se encuentran en explotación con una alta aceptación: ROLA, Modalohr y vagón “poche”. Las modalidades de transporte no acompañadas no requieren disponer de un coche para los conductores ni se ocupa espacio en los vagones para alojar las cabezas tractoras, por lo que logran un mejor aprovechamiento del tren. En este caso la relación entre toneladas netas y toneladas brutas remolcadas más eficiente se produce con la técnica de Modalohr No acompañado.

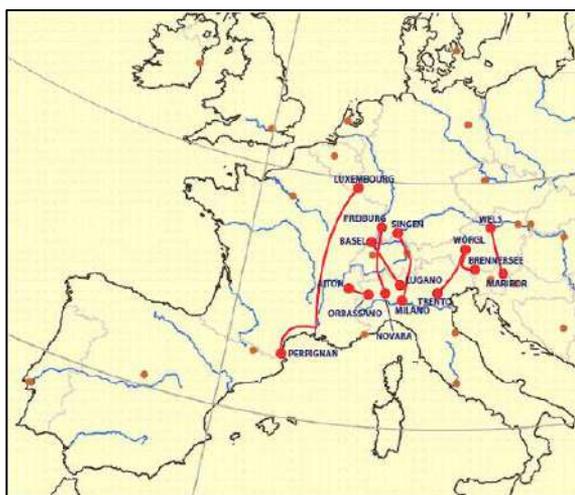
CRITERIO	TECNOLOGÍA				
	CARRETERA RODANTE (ROLA)	SISTEMA MODALOHR		TRANSPORTE COMBINADO DE SEMIRREMOLQUES MEDIANTE VAGÓN "POCHE"	
		Acompañado	No Acompañado		
MATERIAL RODANTE	Vagones rebajados de ruedas pequeñas (Ø36 cm). Superficie plana y continua entre vagones.	Vagones con ruedas de tamaño normal y carga lateral. La caja del vagón pivota sobre el eje longitudinal del tren permitiendo carga de camiones, semirremolques y cabezas tractoras.		El vagón permite la carga del semirremolque mediante un huaco en el que se acopla la parte posterior del semirremolque, cumpliendo el galibo disponible	
TERMINALES FERROVIARIAS	No requiere terminal especial.	Terminales acondicionadas que permitan el uso de esta tecnología.		Terminales convencionales de tráfico intermodal. Requiere la utilización de grúas y no permite electrificación en zona de carga.	
MODO DE CARGA	Los camiones entran secuencialmente por el extremo final del tren hasta alcanzar su lugar.	Carga lateral. Gracias al giro independiente de la caja de cada vagón, se permite la carga de todos los camiones a la vez.		Carga por desplazamiento vertical mediante grúa o grúa pórtico.	
TIEMPO DE CARGA TREN (h)	1,5	2		2	
TRAYECTO ÓPTIMO POR CARRETERA	400 - 600 Km (según si el conductor realiza C/D)	400 - 600 km (según si el conductor realiza C/D)	200 - 300 km (si en un turno realiza ida y vuelta)	200 - 300 km (si en un turno realiza ida y vuelta)	
TRAYECTO ÓPTIMO FERROVIARIO	9 – 11 h (incluida C/D)	9 – 11 h (incluida C/D)	Min 800-1000 Km	Mínimo 800-1000 Km	
ALTURA SEMIRREMOLQUE (m)	ANCHURA (m)	2,5	3,407 (GA) - 3,732 (GB1) - 4,185 (GC)	3,672 (GA) - 3,997 (GB1) - 4,450 (GC)	3,602 (GA) - 3,927 (GB1) - 4,380 (GC)
		2,55	3,388 (GA) - 3,728 (GB1) - 4,185 (GC)	3,653 (GA) - 3,993 (GB1) - 4,450 (GC)	3,538 (GA) - 3,923 (GB1) - 4,380 (GC)
		2,6	3,342 (GA) - 3,724 (GB1) - 4,185 (GC)	3,607 (GA) - 3,989 (GB1) - 4,450 (GC)	3,537 (GA) - 3,919 (GB1) - 4,380 (GC)
COSTE INVERSIÓN TERMINAL 2 VÍAS CARGA Y DESCARGA (€)	19,3 M€ (año 2018)	32,0 M€ (año 2018)		26,0 M€ (año 2018)	
TARIFA DEL SERVICIO (€/VP-Km)	1,44 (año 2018)	1,78 (año 2018)	0,75 (año 2018)	-	
PAÍSES CON SERVICIOS EN LA ACTUALIDAD	Alemania, Austria, Eslovenia Italia, Suiza	Francia, Italia, Luxemburgo, Suecia		-	

**Ilustración 58: Comparativa entre ROLA, Modalohr y vagón "poche" (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

### 3.4.4. Autopistas ferroviarias en Europa

Aunque en España, por el momento, únicamente está en servicio una autopista ferroviaria (Figueras-Perpignan y su conexión a la terminal de Setemar en Can Tunis, Barcelona), de la que más adelante se habla, en Europa es una práctica que en la actualidad está más instaurada, para el transporte de mercancías de media y larga distancia.

Son muchas las líneas que operan como autopista ferroviaria en la actualidad, y sumando. Las primeras autopistas ferroviarias de Europa, conocidas como “carreteras rodantes” surgieron como principal solución para cruzar el macizo alpino de la forma más rápida y segura (Viacombi.eu, 2007).



**Ilustración 59: Mapa de las primeras autopistas ferroviarias europeas (Fuente: Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2007)**

En la actualidad, hay autopistas ferroviarias utilizando los sistemas expuestos con anterioridad en numerosas rutas europeas como lo son, por ejemplo, las líneas Freiburg-Novara (Alemania-Italia), Basel-Lugano (Suiza), Singen-Milán (Alemania-Italia), Wörgl-Trento (Austria-Italia), Wörgl-Brenner (Austria), Trento-Regensburg (Italia-Alemania), Wels-Maribor (Austria-Italia), Salzburg-Trieste (Austria-Italia), Salzburg-Villach (Austria), Wels-Szeged (Austria-Hungría), Padborg-Verona (Dinamarca-Italia), Herne-Verona (Alemania-Italia), Bettembourg-Trieste (Luxemburgo-Italia), Herne-Malmö (Alemania-Suecia), Perpignan-Bettembourg (Francia-Luxemburgo), Aiton-Orbassano (Saboya-Italia), Le Bolou-Calais (Francia), Köln Nord-Melzo, Rotterdam-Riga, Rhein Ruhr-Lituania, Calais-Folkstone, etc., y muchos de ellos consiguiendo realmente los objetivos para los cuales se han planificado estas autopistas ferroviarias.

Sin embargo, en **España**, aunque se están proyectando otras autopistas ferroviarias y terminales para esta planificación del Corredor Mediterráneo y Corredor Atlántico

(como, por ejemplo, la redacción de la plataforma multimodal con una terminal de autopista ferroviaria de Vitoria que conecta con el Corredor Atlántico), en la actualidad únicamente se encuentra en servicio la línea Figueras-Perpignan y su conexión a la terminal de Setemar en Can Tunis que conecta Barcelona con la terminal intermodal de Bettembourg, en Luxemburgo (LFP Perthus, 2019).

La línea Figueras-Perpignan, situada en la frontera entre Francia y España, entre estas dos localidades, está gestionada en la actualidad por el administrador LFP (Línea Figueras Perpignan SA) según la Directiva 2001/14/CE, constituida entre SNCF Réseau y Adif, los cuales se encargan de la gestión íntegra de la infraestructura, definición de los condicionantes de admisión para el material rodante, asignación de capacidades, publicación de documentos técnicos, servicios adicionales, cánones, acuerdos con los operadores, etc.



**Ilustración 60: Administrador LFP (Fuente: LFP, 2019)**

La línea transfronteriza, de doble vía y aproximadamente 45 kilómetros, de tráfico mixto (pasajeros en alta velocidad y mercancías), cruza los Pirineos por medio del túnel de Le Perthus de 8,3 kilómetros, bitubo, y en ancho de vía estándar, con ERTMS 1 y electrificación a 25.000 V, dotándole de una velocidad para trenes de mercancías de 100 km/h. En cuanto a los gálibos implantados, se tuvo en cuenta un gálibo GC (el máximo posible) y para facilitar el transporte de trenes de carga pesada, se minimizaron las pendientes con una pendiente máxima de 18‰, con posibilidad de trenes de mercancías de 850 metros de longitud.



**Ilustración 61: Línea Figueras-Perpignan en planta (Fuente: LFP, 2019)**



**Ilustración 62: Línea Figueras-Perpignan en alzado (Fuente: LFP, 2019)**

Es cierto que, desde sus inicios en el año 2010, la línea no ha conseguido absorber la demanda necesaria para ser una línea eficiente, hasta tal punto en el que en el año 2016 su falta de uso llevó a la concesionaria TP Ferro, compuesta por ACS, Dragados y Eiffage, a la quiebra, momento en el cual se hizo cargo de la línea la sociedad LFP. Años más tarde, se inauguraba una nueva línea ferroviaria operada por VIIA, que une la terminal de Stemar ubicada en Can Tunis (Barcelona) con la terminal de Bettembourg en Luxemburgo, destinada al transporte de semirremolques no acompañados.

Realmente, hasta que el Corredor Mediterráneo no esté operando en su conjunto como una herramienta potente de tráfico de mercancías, es difícil que pequeños tramos ferroviarios sean eficientes por sí solos, pero esa conexión transeuropea está ahí, ya existe y abre la puerta al resto de soluciones intermodales.

### 3.5. Gálíbos ferroviarios

De acuerdo con la prenorma europea, se define gálíbo como el conjunto de normas que incluyen un contorno de referencia y sus reglas de cálculo asociadas, que permiten la definición de las dimensiones exteriores del vehículo y el espacio exento de obstáculos de las instalaciones fijas en la infraestructura (Ministerio de Fomento, 2015).

En estas limitaciones se diferencia entre gálíbos en partes altas y en partes bajas. Las partes altas son aquellas que se encuentran a más de 0,40 m de altura sobre el plano de rodadura definido por los dos carriles, mientras que las partes bajas son las que se sitúan por debajo de los 0,40 m de altura sobre el plano de rodadura (Ministerio de Fomento, 2015).

Estos gálíbos ferroviarios, definen la capacidad que tiene una infraestructura para el acceso de un determinado tipo de tren o su incapacidad para afrontar algunos tipos de transportes. En especial, como se viene diciendo en este TFM, para poder materializar la idea del Corredor Mediterráneo y, con ello, la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona es necesario estudiar el gálíbo actual existente a lo largo del corredor.

Posteriormente, es necesario analizar el gálíbo a implantar para estudiar la necesidad de ampliar la infraestructura existente para el paso de material rodante compatible con las autopistas ferroviarias, material rodante que aúna las características de las tecnologías plasmadas con anterioridad.

En el caso por ejemplo de los túneles, imaginando que tiene que circular un tren con una carga específica que no cumple con el gálibo existente en la infraestructura, físicamente el tren no puede circular por esa línea porque chocaría con la bóveda o los hastiales, comprometiendo tanto la seguridad del tren como la seguridad de la infraestructura.

### 3.5.1. Normativa

Como cualquier especificación técnica dentro de los proyectos ferroviarios, el estudio de los gálbos ferroviarios tiene una normativa de referencia que es necesaria cumplir para validar la interoperabilidad de una línea. Esta normativa de referencia es:

- Instrucción Ferroviaria de Gálbos. Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, redactado por el Ministerio de Fomento y la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria en el año 2015.
  - Además de la “Nota aclaratoria sobre la aplicación de la Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la Instrucción Ferroviaria de Gálbos”, redactado por el Ministerio de Fomento y la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria en el año 2019.
- Normas UNE redactadas por el comité técnico CTN 25 Aplicaciones ferroviarias, cuya secretaría desempeña CETREN, en mayo de 2017:
  - UNE-EN 15273-1:2013+A1. Aplicaciones ferroviarias. Gálbos. Parte 1: Generalidades. Reglas comunes para infraestructuras y material rodante.
  - UNE-EN 15273-2:2013+A1. Aplicaciones ferroviarias. Gálbos. Parte 2: Gálbos del material rodante.
  - UNE-EN 15273-3:2013+A1. Aplicaciones ferroviarias. Gálbos. Parte 3: Gálibo de implantación de obstáculos.
- REGLAMENTO (UE) Nº1299/2014 DE LA COMISIÓN de 18 de noviembre de 2014 relativo a las especificaciones técnicas de interoperabilidad del subsistema “infraestructura” en el sistema ferroviario de la Unión Europea.

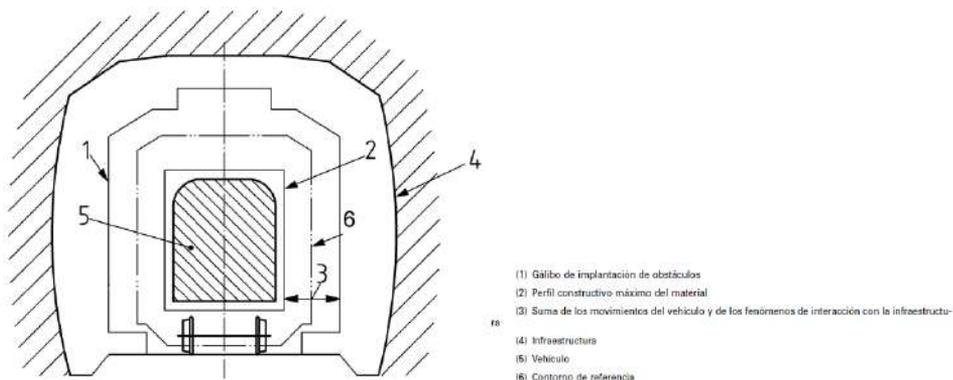


**Ilustración 63: Normativa de referencia gálbos (Fuente: Ministerio de Fomento, 2017)**

*Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona. Ampliación del túnel “La Romera” para el paso de material rodante compatible.*

### 3.5.2. Gálibo a implantar

El gálibo a definir en una línea ferroviaria está formado por el contorno de referencia del gálibo cinemático (partes altas y partes bajas) y unas reglas asociadas a las características del tramo de estudio que modifica este contorno de referencia.



**Ilustración 64: Gálidos ferroviarios (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

La Instrucción considera tres tipos de gálibo de implantación de obstáculos, afirmando que, por regla general, se respetará en líneas nuevas o acondicionadas el gálibo uniforme de implantación de obstáculos, salvo casos excepcionales técnicos o económicos que estén debidamente autorizados por la Autoridad Ferroviaria (Ministerio de Fomento; Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, 2015):

– Gálibo límite:

Se utiliza para un punto o un tramo de la línea. Delimita el espacio que no debe invadir ningún obstáculo en circunstancia alguna, a fin de permitir la circulación normal de los vehículos, más una reserva para considerar las variaciones tolerables de la posición de la vía que se producen entre dos operaciones normales de mantenimiento.

– Gálibo nominal:

Se utiliza para un punto o un tramo de la línea. Es similar al gálibo límite, pero incorpora márgenes complementarios para la circulación de transportes excepcionales, incrementos de velocidad, etc.

– Gálibo uniforme:

Se utiliza para definir el gálibo de una línea. Es un gálibo nominal obtenido para una envolvente de parámetros (radios, peraltes, etc.) suficientemente desfavorables, que no se superan en la mayor parte de la línea. Es un gálibo único para toda la línea.

Los contornos de referencia publicados en la Instrucción, tanto en partes altas como en partes bajas, son los siguientes:

PUNTOS DEL CONTORNO DE REFERENCIA	ANCHO DE VÍA		
	Ibérico	Estándar europeo	Métrico
Partes altas h>0,4m	GHE 16		GEE10
	GEA16	GA	GED10
	GEB16	GB	
	GEC16	GC	
Partes bajas h≤0,4m	GEI1	GI1	GEE10
	GEI2	GI2	
	GEI3	GI3	

**Ilustración 65: Contornos de referencia (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

Sus iniciales, y para comprender mejor el significado de estas siglas son: G: Gálibo; H: Histórico; E: español; A: Gálibo envolvente del gálibo GA; B: Gálibo envolvente del gálibo GB; C: Gálibo envolvente del gálibo GC; las dos cifras significan el ancho de vía; GA, GB y GC son gálibos interoperables europeos (se omiten las cifras).

Para la elección en el uso de estos contornos de referencia a la hora de estudiar su implantación en una línea, tanto nueva como acondicionada, la Instrucción define el siguiente cuadro para vías de ancho estándar e ibérico, remarcando que en determinados corredores la Autoridad Ferroviaria podrá establecer unos gálibos superiores a estos para permitir ciertos tipos de tráficos o menores en situaciones excepcionales:

Tipo de línea	Gálibo uniforme de implantación de obstáculos			Gálibo en situaciones excepcionales			
	Ancho de vía	1435 mm	1668 mm	Ancho mixto (tres carriles) <sup>(8)</sup>	1435 mm	1668 mm	Ancho mixto (tres carriles)
Líneas nuevas		GC	GEC16	GEC16+GC	(4)	(5)	
Líneas acondicionadas		GC GB <sup>(1)</sup>	GEC16 GEB16 <sup>(2)</sup>	GEC16+GC GEC16+GB <sup>(3)</sup> GEB16+GC <sup>(3)</sup> GEB16+GB <sup>(3)</sup>	(6)	(7)	(8)

**Cuadro 1.2. Gálibos de implantación de obstáculos en partes altas a considerar en cada tipo de línea (ancho de vía 1435 mm y 1668 mm)**

**Ilustración 66: Gálibo en partes altas (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

Además, hay una tabla para la elección del gálibo de implantación de obstáculos en partes bajas, diferenciando su uso para autopista ferroviaria o no apta para dicho uso, ya sea para una nueva línea/corredor como para un acondicionamiento.

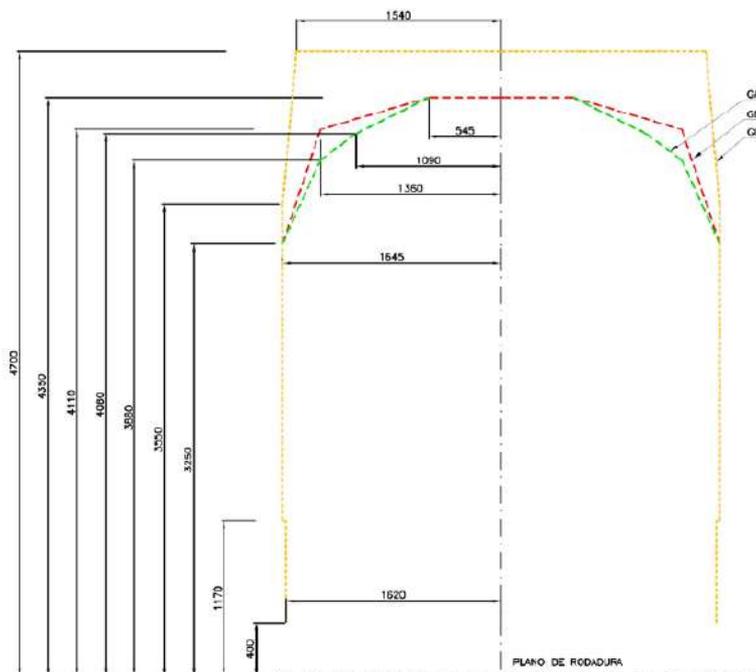
Tipo de línea	Ancho de vía	
	1435 mm	1668 mm
<i>Apta para transporte mediante autopista ferroviaria <sup>(1)</sup></i>	GI3	GEI3
<i>No apta para transporte mediante autopista ferroviaria</i>	GI2	GEI2

**Cuadro 1.3. Gálbos de implantación de obstáculos en partes bajas a considerar en cada tipo de línea (ancho de vía 1435 mm y 1668 mm)**

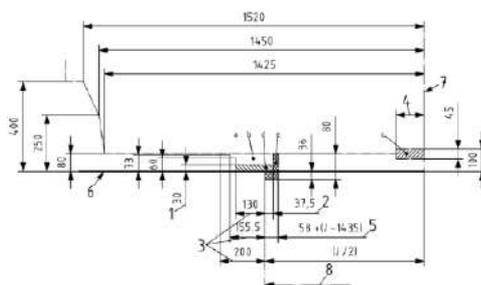
**Ilustración 67: Gálibo en partes bajas (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

Por lo tanto, atendiendo a la ilustración 64, el gálibo de implantación de obstáculos en partes bajas para una autopista ferroviaria, en ancho estándar será un GI3 y en ancho ibérico será un GEI3.

En cuanto al gálibo de partes altas, atendiendo a la figura 63, imaginando una línea en ancho estándar y que va a ser acondicionada una línea convencional para reconvertirla en autopista ferroviaria se deberá usar un gálibo de implantación de obstáculos en partes altas GC (o GEC16) o GB (o GEB16) en el caso de que mediante un estudio de viabilidad técnica y económica se demuestre la no conveniencia del gálibo GC.



**Ilustración 68: Contornos de referencia de los gálbos cinemáticos GA, GB y GC, partes altas (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**



**Ilustración 69: Contorno de referencia del gálibo cinemático GI3, partes bajas (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

A estos contornos de referencia se les aplican una serie de reglas asociadas, fórmulas para determinar la separación lateral y vertical de los obstáculos, y calcular así los gálibos definidos, tales como:

- Separación lateral: salientes, desplazamientos debidos al exceso o insuficiencia de peralte, desplazamientos aleatorios debidos a desplazamiento de la vía, desplazamiento del peralte, disimetrías del vehículo, oscilaciones del vehículo por irregularidades de la vía; y márgenes complementarios.
- Separación vertical: inscripción en acuerdos verticales, desplazamientos debido al exceso o insuficiencia de peralte, desplazamientos verticales por vía, peralte o disimetrías del vehículo; y márgenes complementarios.

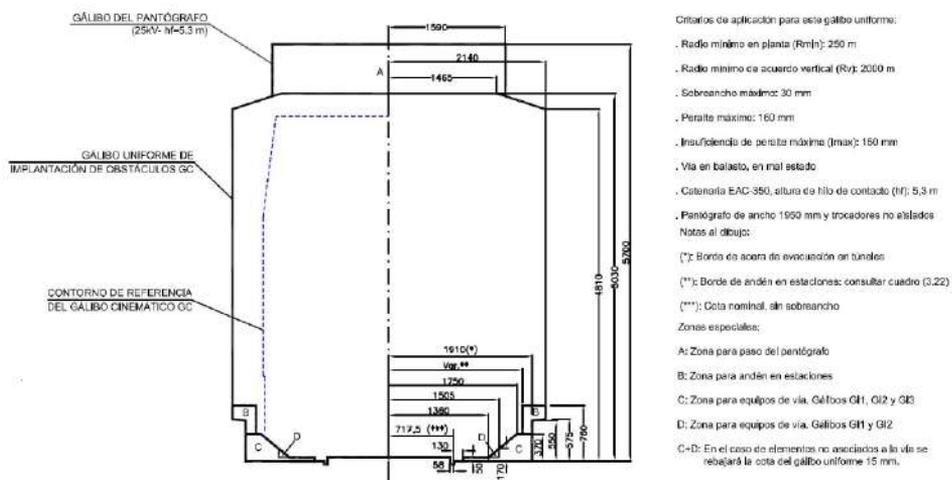
SITUACIÓN	$A_{\text{estacion}} \text{ máximo con } A_{\text{estacion}} \text{ compatible}$		$A_{\text{estacion}} \text{ máximo con } A_{\text{estacion}} \text{ compatible}$		
	Lado interior de la curva	Lado exterior de la curva	Lado interior de la curva	Lado exterior de la curva	
$V_{\text{máx}} \leq 120$	Punto PT	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} - \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T - M_{13} \cdot \overline{L} + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + M_{13} \cdot \overline{L} + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + M_{13} \cdot \overline{L} + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$
	Partes altas: salientes por encima de la señalera (GALIBO)	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} - \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} - \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$
	Partes altas: quitan por debajo de la señalera (GALIBO)	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} - \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} - \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$
	Partes bajas (V ≤ 80 km/h)	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$
$V_{\text{máx}} > 120$	Punto PT	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} - \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T - M_{13} \cdot \overline{L} + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + M_{13} \cdot \overline{L} + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$
	Partes altas: salientes por encima de la señalera (GALIBO)	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} - \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + M_{13} \cdot T + 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T + M_{13} \cdot T$
	Partes altas: quitan por debajo de la señalera (GALIBO)	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} - \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} - \overline{P}_2 + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$
	Partes bajas (V ≤ 80 km/h)	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$	$A_{\text{estacion}} \geq A_{13} + \overline{S} + \overline{M}_2 + M_{20}$ $A_{\text{estacion}} \leq A_{13} - M_{13} \cdot \overline{L} - 2 \cdot \overline{P}_2 \cdot T - M_{13} \cdot T$

NOTA: Las celdas sombreadas corresponden a las situaciones generalmente más desfavorables.

Cuadro 3.2. Fórmulas para determinar la separación lateral y vertical de los obstáculos. Curva (gálibo nominal)

**Ilustración 70: Fórmulas para determinar las separaciones (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

Por ejemplo, la Instrucción de partida calcula, para unos criterios de aplicación, el gálibo uniforme GC:



**Ilustración 71: Gálibo uniforme GC (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

### 3.5.2.1. Consultas a fabricantes y diseñadores de material móvil

Lo cierto es que, la implantación de los gálbos en autopistas ferroviarias está en la actualidad en discusión entre los diferentes partícipes de estas iniciativas.

Francia y España decidieron, en julio de 2015, la creación de un grupo de trabajo común para el establecimiento de servicios de autopista ferroviaria en los ejes atlántico y mediterráneo a través de los Pirineos con el fin de coordinar las acciones de los dos Estados en este sentido (Ministerio de Fomento; Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 2018).

Durante una reunión de los Secretarios de Estado en materia de transporte en Bordeaux en octubre de 2015, ambos Estados confirmaron la voluntad de cooperar para la puesta en marcha de servicios de autopista ferroviaria internacionales en los ejes Atlántico y Mediterráneo según una hoja de ruta común.

Así mismo, se abordaron los requisitos para la realización de las acciones necesarias con el fin de que:

- Los servicios de autopista ferroviaria se desarrollen en los ejes Atlántico y Mediterráneo con calendarios semejantes
- Las diferentes soluciones tecnológicas relativas al material rodante sean tenidas en cuenta
- Las autopistas ferroviarias constituyan un elemento catalizador para el tráfico de mercancías convencional y no suponga una disminución de la oferta de servicios convencionales, incluido el transporte de contenedores (transporte combinado).

Esa hoja de ruta establece las acciones para:

- Una fase de diagnóstico, recogiendo documentación sobre las condiciones actuales de infraestructura y tráfico
- El lanzamiento de convocatorias de manifestación de interés para cada eje
- La realización de los estudios técnicos necesarios sobre las redes y los terminales
- La coordinación de las acciones a nivel europeo

La consulta estaba dirigida a los fabricantes y diseñadores de material rodante susceptibles de estar interesados en el desarrollo y suministro de material rodante para los servicios de autopista ferroviaria.

El objeto principal era el poner a disposición de los Estados los elementos necesarios para definir y orientar sus políticas en materia de infraestructuras y prepara el lanzamiento de una convocatoria de manifestación de interés para el establecimiento de los servicios.

Los resultados de esta consulta, publicados en un informe con título “Servicios de Autopista Ferroviaria (AF) en los ejes Atlántico y Mediterráneo. Convocatoria de manifestaciones de interés. Consulta a los fabricantes y diseñadores de material móvil” de enero de 2018 (Ministerio de Fomento; Ministère de l’Environnement, de l’Energie et de la Mer, 2018), permiten dar a conocer a los Estados y otras entidades susceptibles de estar interesadas en el establecimiento de los servicios:

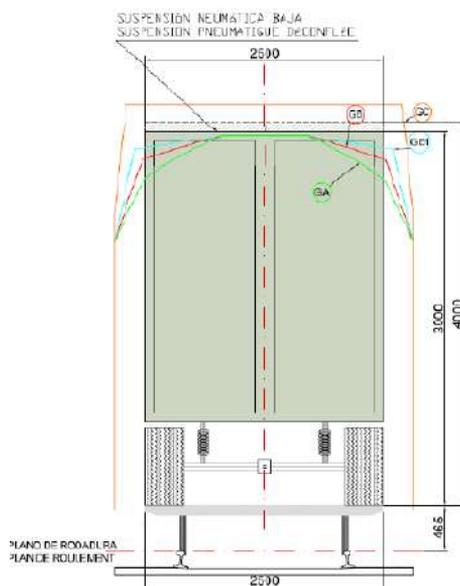
- La naturaleza y características de los materiales rodantes actualmente disponibles o que podrían estar disponibles en el futuro, con sus contornos de referencia.
- Las condiciones bajo las que será posible disponer de estos materiales.

Se llevó a cabo un procedimiento no vinculante para los Estados, destinado a recabar y compartir la información disponible sobre los materiales con el fin de facilitar el establecimiento de los servicios.

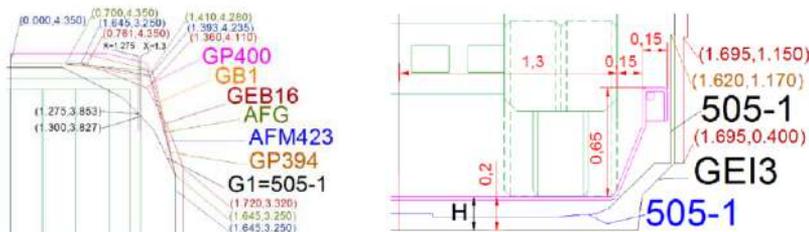
De esta forma, se podría establecer que gálibo es necesario implantar en las autopistas ferroviarias, tras conocer que material rodante podría circular por ellas, pero la cosa quedó ahí.

Por el momento no se ha tomado esta decisión, y lo que se realiza en la práctica es la implantación de un gálibo GC (o GEC16) ante la posibilidad futura de que implantando un gálibo GB (o GEB16) la infraestructura se quede “pequeña” y no pueda dar servicio a material rodante compatible futuro.

A continuación, se muestran unos ejemplos de la inscripción de la carga de diferentes propuestas de tecnologías de autopistas ferroviarias en los gálibos de partes altas y partes bajas:



**Ilustración 72: Inscripcón de la carga en los gálibos para el sistema RoLa (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

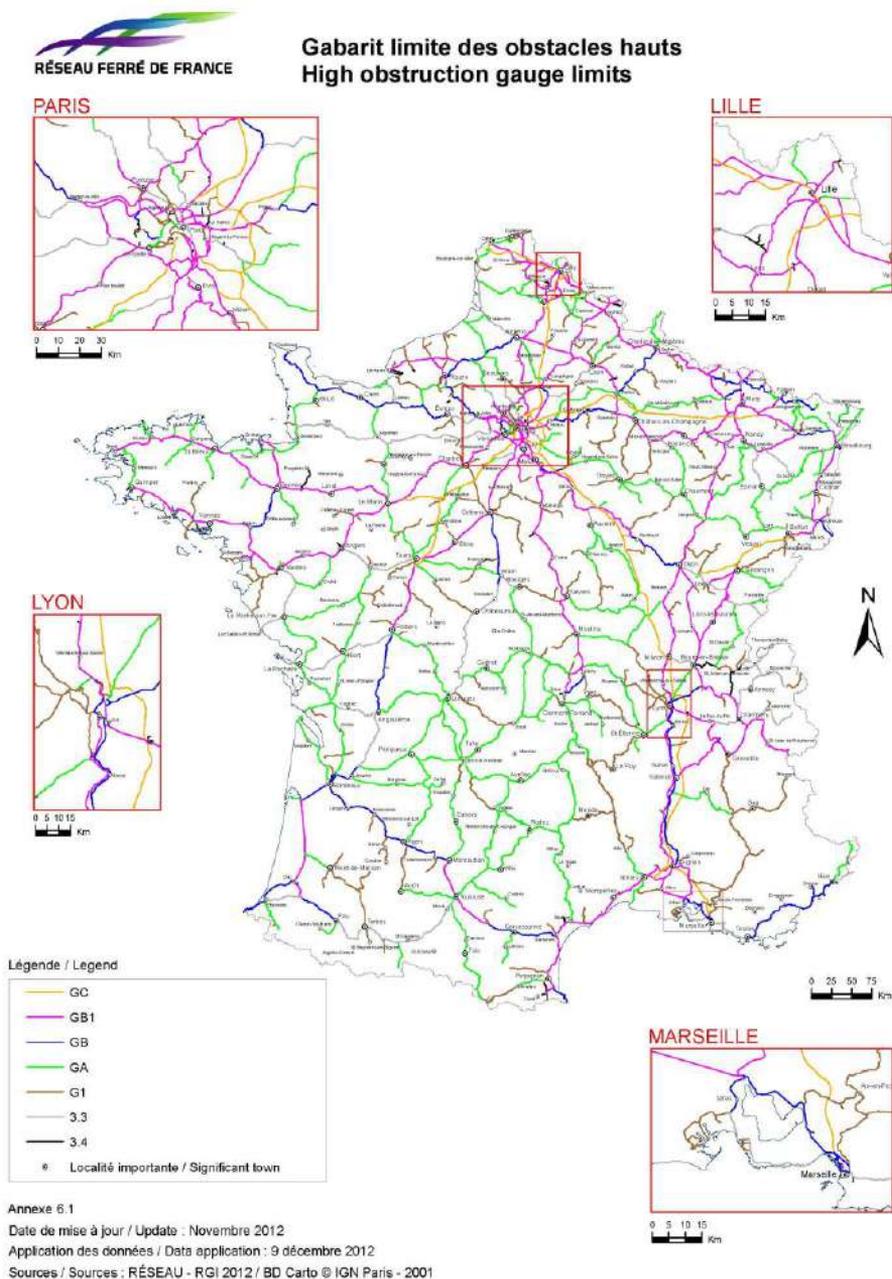


**Ilustración 73: Inscripcón de la carga en los gálibos para el sistema propuesto por Sain-Gal (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018)**

### 3.5.2.2. Mapa gálibos red francesa

A la hora de establecer una hoja de ruta en el diseño de nuevas líneas ferroviarias o adecuaciones de líneas ya existentes, hay países europeos que tienen instaurado un mapa de gálibos futuros, siguiendo las políticas de planificación de su país.

Por ejemplo, Francia realiza un mapeado de gálibos de su infraestructura para la hora de realizar un proyecto, que no sea el propio director de proyecto de la Autoridad Ferroviaria el que decida qué gálibo se debe implantar en esa línea. Todo lo contrario, a la hora de realizar un proyecto se siguen las directrices marcadas para esa línea planificada, adoptando el gálibo que le marque.



**Ilustración 74: Mapa de gálbos Francia 2012 (Fuente: Réseau Ferré de France, 2012)**

Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona.  
Ampliación del túnel "La Romera" para el paso de material rodante compatible.

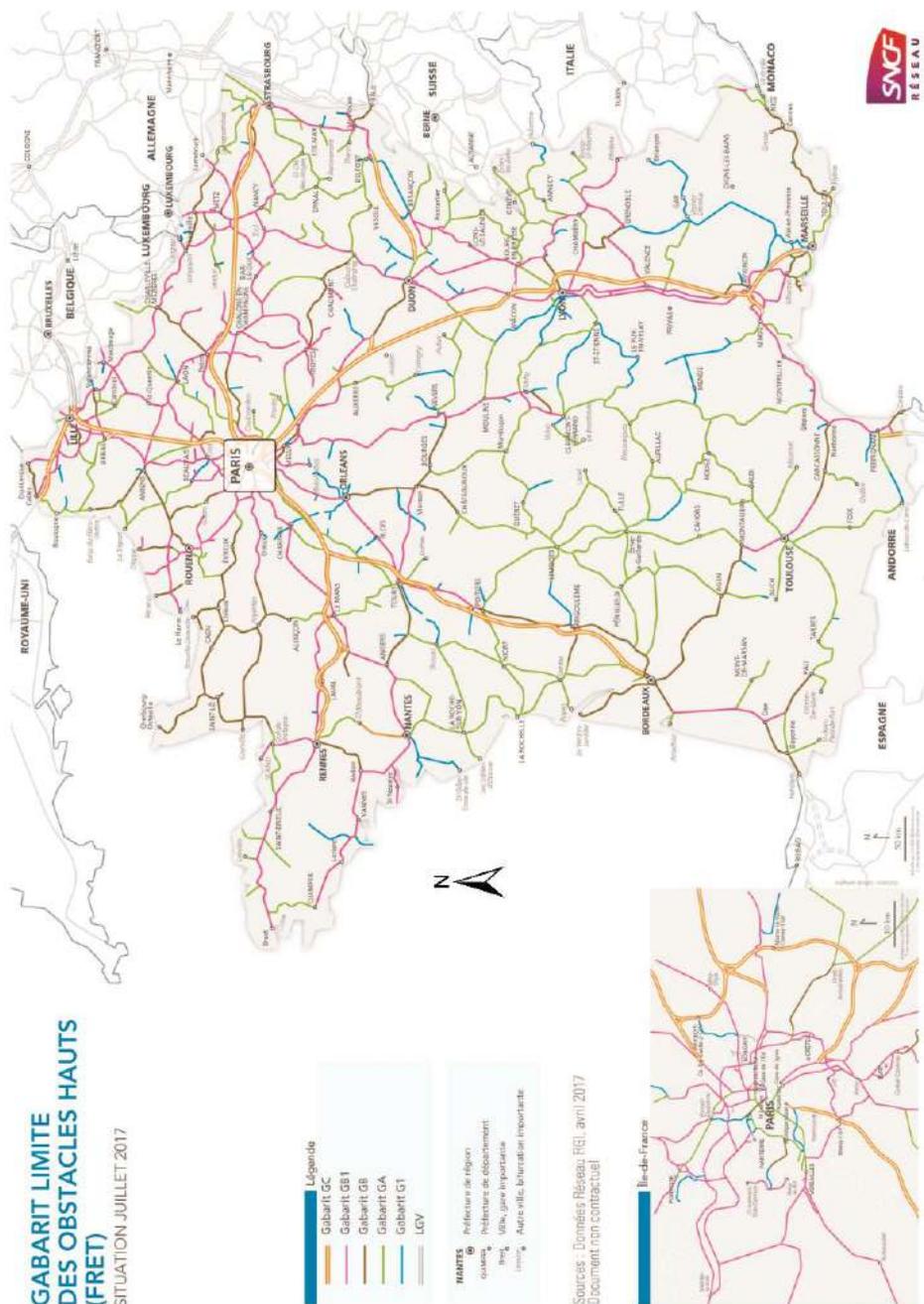


Ilustración 75: Mapa de gálbos Francia 2017 (Fuente: SNCF, 2017)

Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona.  
Ampliación del túnel "La Romera" para el paso de material rodante compatible.

Como se puede observar en las ilustraciones 71 y 72, la Autoridad Ferroviaria francesa tiene unos mapas donde se pueden observar estos gálibos. Mirando hacia la frontera Francia-España, se puede observar que en los últimos años (2012-2017) han reforzado el empeño en adoptar un gálibo GC en la línea Paris-Hendaye para su conexión con Irún, del Corredor Atlántico, al igual que la línea Paris-Perpignan para su conexión con la autopista ferroviaria Figueras-Perpignan, anteriormente mencionada, ya con gálibo GC, para el Corredor Mediterráneo, reflejando su clara apuesta por estos corredores ferroviarios.

### 3.5.3. Captación gálibo con nubes de puntos

Los administradores de infraestructuras pueden hacer una contribución sustancial a la mejora de la propia seguridad de la infraestructura mediante una gestión rentable de los activos. Las tecnologías modernas, como es la captación de la infraestructura con nube de puntos, pueden contribuir a obtener un grado más alto de rentabilidad en estos procesos.

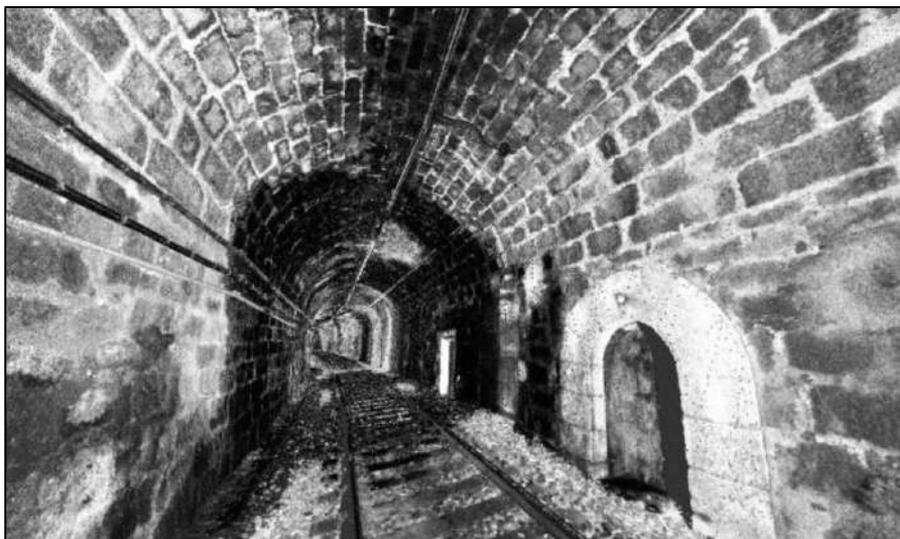
A lo largo de estos últimos años, se han creado una serie de sistemas de apoyo a la decisión, basados en diferentes aspectos, que como fin último tienen apoyar a los agentes decisores del administrador de la infraestructura a tomar las decisiones sobre el mantenimiento de la infraestructura. Un sistema de apoyo a la decisión es un sistema basado en utilizar la inteligencia artificial o simplemente modelos para procesar datos y conocimiento. De esta manera se crea un ambiente más productivo, ágil, innovador y de buena reputación (Burstein and Holsapple 2008).

Hakan Guler (Guler, 2013), introduce un modelo que fue implementado como un sistema de apoyo a la decisión para el mantenimiento y la renovación compatible con el sistema de gestión M&R basado en condiciones, utilizando todos los datos necesarios de la vía. El sistema funciona de modo que, configurando un grupo de reglas de decisión, analiza la información y proporciona criterios útiles aplicables a la planificación de los programas de mantenimiento y renovación. Además, el sistema produce ciertas salidas que pueden ser comprobadas o cambiadas por el administrador de la infraestructura en base a su propio criterio de experto, de modo que puede retocar las reglas introducidas para ajustar el sistema más a la realidad (Rodríguez Serrano, 2019).

Desde este punto de vista, la introducción de modelos digitales 3D generados por el escaneado 3D de la infraestructura como uno de los puntos de entrada en este tipo de sistemas, aportan una gran información sobre la realidad de la infraestructura, siendo un buen punto de referencia para el análisis de la necesidad de mantenimiento y/o acondicionamientos de líneas (Rodríguez Serrano, 2019).

En este caso, poder disponer de una nube de puntos con una gran densidad de puntos que representan la realidad de la geometría o el estado de la infraestructura, aplicando el análisis de esta gran cantidad de información, Big Data Analytics, se pueden llegar a obtener unas conclusiones determinantes sobre la necesidad de actuación en una zona

de la línea prácticamente de forma autónoma, con gran precisión, y con datos obtenidos cada corto periodo de tiempo (Rodríguez Serrano, 2019).



**Ilustración 76: Nube de puntos de un túnel ferroviario (Fuente: Rodríguez, 2019)**

La inteligencia artificial debe recopilar la mayor cantidad de datos posibles para el análisis de grandes datos. Se está estudiando un método para integrar la inspección y los datos de especificación para los equipos de paso gestionados por sistemas independientes. El primer paso es preconstruir o representar la realidad en un prototipo de entorno virtual y poseer una herramienta de soporte donde los equipos y la información de la inspección se muestran en una sola pantalla (Takikawa, 2016). Esta información de la inspección o de la monitorización, se puede introducir dentro de un entorno de trabajo virtual que representa la realidad de la infraestructura (modelos digitales 3D) (Rodríguez Serrano, 2019).

Estos modelos digitales 3D, se obtienen a partir de la solución Mobile Mapping Systems, de modo que el entorno de la plataforma ferroviaria, por medio de una dresina con escáner láser incorporado, es capturada por medio de información en modo de puntos georreferenciados mientras la dresina transcurre por la vía.

Para generar el modelo digital georreferenciado a partir de nube de puntos, por lo general se utiliza una dresina ferroviaria (Ilustración 73) a la cual se le incorpora el escáner láser. Esta dresina, mientras recorre la línea ferroviaria, captura la realidad de la plataforma, así como todos los elementos de la superestructura, electrificación, señalización, etc. En el caso del estudio de gálbos en túneles, del mismo modo, se puede obtener una nube de puntos georreferenciada del túnel, teniendo así el gálbo existente.



**Ilustración 77: Láser escáner montado sobre dresina de Adif (Fuente: Adif, 2018)**

Pero no solo puede realizarse de este modo, es posible realizar este tipo de escaneados con un gran número de elementos que se montan sobre la vía y con la que se pueden obtener menor o mayor densidad en función de la velocidad con la que se desplace el elemento de transporte.

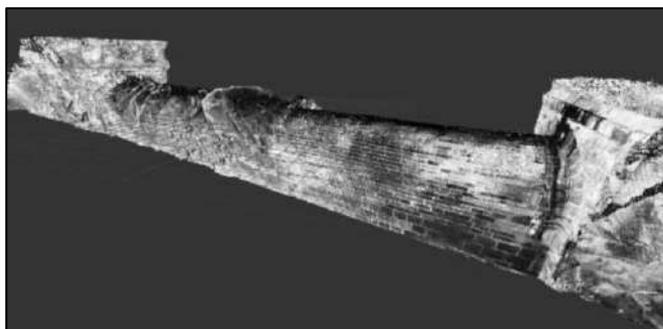


**Ilustración 78: Elemento de transporte sobre la vía (Fuente: Leica, 2020)**

Teniendo en cuenta que en la actualidad la captura de este entorno se realiza de un modo rápido (en torno a 30 km/h con dresina) y a lo largo de una línea ferroviaria, sería factible pensar que, en el caso de analizar la estabilidad de unas trincheras ferroviarias o de diferentes túneles a lo largo de una línea, circule sobre las líneas férreas con un láser escáner integrado que avance de manera autónoma y de forma periódica, escaneando la infraestructura de todas las líneas del administrador (Rodríguez Serrano et al, 2019). De esta forma, la administración podría tener una gran cantidad de información sobre la infraestructura que gestiona, con datos periódicos y variables aportando información a la gestión de activos y aportando valor al sistema de gestión de infraestructura. Se podría analizar, desde el punto de vista geotécnico, la variación en las tomas de datos, o lo que es lo mismo, las deformaciones que ha sufrido un talud,

un emboquille o una bóveda en un tiempo “t” y las velocidades de las deformaciones de forma automática.

De este modo, se podrían estudiar los cambios que se han producido durante un largo periodo de tiempo, alertando de posibles cambios que a priori parecían estables, o mostrando realmente la curva de deformación que ha tenido un túnel; en lugar de realizar cálculos que finalmente se basan en cálculos empíricos extrapolados a un futuro (Rodríguez Serrano, 2019).



**Ilustración 79: Nube de puntos de un túnel ferroviario (Fuente: Rodríguez, 2019)**

De esta manera la administración tendría un total control sobre la seguridad en la circulación y sobre el riesgo real que produce el estado evolutivo. Se podrían realizar decisiones basadas en un gran número de datos objetivos que aportan fiabilidad y seguridad (Rodríguez Serrano, 2019).

Todas estas variables descritas desde el inicio de este supuesto crean la necesidad de conocer e interpretar con exactitud el terreno y las infraestructuras en las que se está trabajando, mejorando la calidad de los proyectos y, por consiguiente, de las obras a ejecutar. Cuanta mayor información se obtenga de la realidad, mayor conocimiento se tendrá del terreno y, por tanto, mejores soluciones se podrán aportar al proyecto, reduciendo drásticamente la incertidumbre en ciertos proyectos.

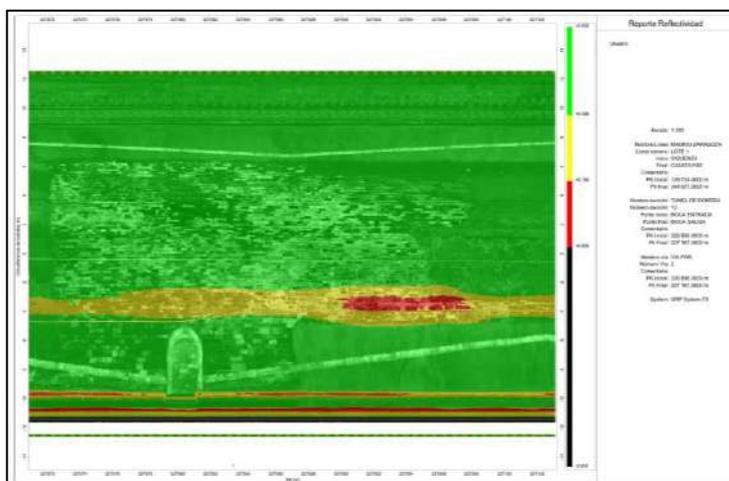
Mediante la adquisición masiva de datos, con el uso de nube de puntos, se dispone en gabinete de un sinfín de datos que pueden ser consultados en cualquier momento, bien sea para consultar zonas del terreno, elementos existentes en los alrededores de la zona de estudio o para realizar cualquier encaje de solución 3D que es mucho más difícil coordinar espacialmente mediante metodología tradicional.

Pero no solo sirve para eso, tiene múltiples utilidades que enuncian a continuación, entre otras:

- Inventario de activos y comprensión de la infraestructura.
- Generación de modelos geométricos.
- Análisis de perfiles mucho más precisos.

- Encajes estructurales de sostenimientos.
- Identificación automática de elementos como catenaria, carriles, etc.
- Estudios 3D de gálbos.

Precisamente, en los túneles, además de estudiar los gálbos de una forma casi instantánea (Ilustración 77) con softwares como *Amberg Rail* que te muestran con una gama de colores las zonas más problemáticas, es posible identificar por ejemplo el tipo de sostenimiento/revestimiento que tiene el túnel (Ilustración 78), las patologías identificadas, tramos en roca, estudios de gálbos en 3D, etc.



**Ilustración 80: Estudio de gálbos Túnel La Romera con *Amberg Rail* (Fuente: Adif, 2011)**



**Ilustración 81: Nube de puntos, transición de sección de un túnel (Fuente: Rodríguez, 2019)**

## 4. Autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona

### 4.1. La línea ferroviaria

La línea 44, Madrid-Barcelona, de casi 700 km de longitud, línea convencional construida en el siglo XIX e inaugurada en el año 1859, es la línea ferroviaria de ancho ibérico que une Madrid y Barcelona, con vía doble electrificada entre Madrid-Calatayud, Ricla-Zaragoza, y Reus-Barcelona, siendo de vía única los tramos entre Calatayud-Ricla y Zaragoza-Reus.



**Ilustración 82: Corredor Madrid-Zaragoza-Barcelona (Fuente: ADIF, 2020)**

En esta línea circulan tanto servicios de cercanías en Madrid, Barcelona y Zaragoza, servicios regionales, en cuanto a transporte de viajeros, así como servicios de media y larga distancia de mercancías.

El corredor, en la línea y sus inmediaciones, tiene terminales de transporte de mercancías en Madrid Abroñigal-Sta. Catalina, Vicálvaro Mercancías, Complejo Villaverde, Grisen, Zaragoza Plaza, Zaragoza Arrabal, Constantí, Tarragona Mercaderías, Barcelona Can Tunís y Barcelona Morrot (ADIF, 2020).

El valor máximo de rampa se sitúa en 27‰ en el tramo Torredembarra-Barcelona, mientras que en el tramo del túnel objeto no se supera una rampa del 10‰ (ADIF, 2020).

La longitud máxima para los trenes de mercancías básica es de 500 metros y especial de 575 metros para el tramo Madrid-Ricla (objeto del TFM), 500 y 575 para el tramo Ricla-Tarragona, 450 y 550 para el tramo Tarragona-Barcelona (ADIF, 2020), siendo necesaria su ampliación a trenes de mínimo 750 metros para conseguir la competitividad del transporte de mercancías ferroviario y equipararse a las condiciones europeas.

La línea se encuentra completamente electrificada a 3 kV tanto en vía doble como en vía única, siguiendo la tramificación de vías aportada, siendo necesaria la electrificación a 25 kV.

La velocidad máxima de explotación de la línea se encuentra actualmente en 160 km/h. Para el tráfico de mercancías son velocidades altas, en la actualidad el tráfico de

mercancías se transporta a velocidades mucho menores, con una media de entre 50-60 km/h. Aun así, de las consultas realizadas por el Ministerio de Fomento a los fabricantes de material rodante en España y Francia, se extrae que las velocidades de operación en las autopistas ferroviarias en España rondarían entre los 100-120 km/h de máxima, llegando incluso a transportar mercancías a 160 km/h como es el caso de la tecnología Flexiwaggon para condiciones ideales (Ministerio de Fomento; Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 2018).

Los túneles que conforman la línea son los siguientes:

- **Vía doble:** Cutamilla, Saz, Torralba, Lodaes, Jubera, Somaén (2), Alhama de Aragón (2), Buberca (2), La Romera, Enmedio, Azud de la Mina, Túnel de Zaragoza.
- **Vía única:** Bilibis, Villarvilla, Campinel, Embid de Jalón, Caserío del Cinco (2), Embid de la Ribera, Villanueva de Jalón, Las Cañadas, Las Torcas, Ricla, Samper de Calanda, Chiprana (2), Caspe, Val de Pilas (2), Fabara (2), Matarraña (2), Nonaspe (4), Fayón (7), La Pobla de Massaluca, Berrús, Ribarroja de Ebro, Flix, Ascó (3), García (3), Darmós, Guiamets (5), Capcanes (4), Sierra de la Espasa, Marsá, Falset, Pradell, Fontaubella, Argentera, Dosaiguas, Ruidecañas (7), Puigdelfí, Perafort, Cativera.

## 4.2. Oportunidades de desarrollo

En los últimos años, en España, se han desarrollado diferentes proyectos y obras, conforme a las políticas de desarrollo europeas con el fin de promover las autopistas ferroviarias dentro de los corredores de mercancías de la Red Transeuropea y, lograr así, los objetivos planteados desde la Comisión Europea.

Como se ha dicho anteriormente, la línea Madrid-Zaragoza-Barcelona se encuentra inserta dentro del Corredor Mediterráneo Ferroviario Europeo de Mercancías.

Además de la construcción del Corredor Mediterráneo, altamente avanzado, en el ámbito de Zaragoza se han llevado a cabo diversas licitaciones para conectar la ciudad con el puerto de Sagunto de una forma más eficiente, competitiva y avanzando así en la conexión del Corredor Mediterráneo con el Corredor Atlántico por la zona norte. Por ejemplo, en abril de 2019 se adjudicó a la empresa Contratas y Ventas S.A. la ejecución de las obras del proyecto constructivo para la adaptación de la línea Sagunto-Teruel-Zaragoza para la circulación de trenes de mercancías de 750 metros de longitud (Adif, 2019). En la actualidad, hay un proceso de contratación abierto con objeto “*Servicios para la redacción de los proyectos de ampliación de gálibo en túneles y pasos superiores de la línea 610 Zaragoza-Teruel-Sagunto (Exp. 3.19/27507.0077)*” (Ministerio de Hacienda, 2020), ampliamente relacionado con el objeto de este TFM, en un eje complementario a la línea Madrid-Zaragoza-Barcelona, que busca los mismos objetivos de desarrollo.

En cuanto a la línea Madrid-Zaragoza-Barcelona, objeto del TFM, en la cual por el momento no se han llevado a cabo procesos de contratación para el desarrollo como potencial Autopista Ferroviaria (AF), el gobierno recientemente ha declarado **proyecto prioritario** el tramo Plaza-Algeciras como AF.



**Ilustración 83: Autopista ferroviaria Algeciras-Zaragoza (Fuente: Heraldo, 2020)**

El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) ha apostado fuertemente por la autopista ferroviaria prevista entre la Plataforma Logística de Zaragoza (Plaza) y el puerto de Algeciras con su declaración como proyecto estratégico, lo que permitirá agilizar sus plazos para que sea una realidad en la legislatura actual (Heraldo, 2020). El director de Aragón Plataforma Logística concretó en el mes de febrero de 2020 que subirían una gran cantidad de semirremolques al tren, implicando a los sectores públicos y privados para mejorar la logística hacia una operación más sostenible y económicamente rentable.

El proyecto de la autopista ferroviaria Plaza-Algeciras, promovida por Aragón Plataforma Logística (APL), la Autoridad Portuaria de Algeciras y el Administrador de Infraestructuras Ferroviaria (ADIF), busca aprovechar la línea convencional (infraestructura actualmente con bajas circulaciones) para atraer el tráfico pesado al ferrocarril a lo largo de los más de mil kilómetros que unen las localidades.

El centro logístico Zaragoza Plaza es la plataforma logística que constituye la mayor terminal de carga de mercancías del sur de Europa. Anualmente Zaragoza Plaza mueve 7.500 trenes gracias a sus 755.000 m<sup>2</sup> de superficie. Conectar este hub logístico con el puerto de Algeciras (hub intercontinental al servicio del transporte y el comercio mundial y puerto con mayor tráfico exterior de mercancías ro-ro), mediante una oferta de multimodalidad más amplia, convertiría Plaza en el punto de intercambio de mercancías más importante del país gracias a la atracción de nuevos operadores

ferroviarios y a la implicación de grandes empresas logísticas que en la actualidad operan con gran volumen de semirremolques en Plaza.

Desde finales del año 2019, las tres partes interesadas están trabajando en un estudio de viabilidad para convertir esta oportunidad en una realidad (Cadena de suministro, 2019) y ofrecer un servicio ro-ro que permita al ferrocarril ganar posicionamiento en este transporte.

A lo largo del año 2020, Adif está valorando la puesta en marcha del proyecto mediante un estudio de demanda que permita conocer la viabilidad de la línea como autopista ferroviaria con las correspondientes actuaciones a realizar dada la limitación de gálibo existente y las necesidades de servicio que acarrearán las autopistas ferroviarias.

El corredor entre Zaragoza y Barcelona lidera ampliamente los tráficos superando los 1,18 millones de toneladas netas transportadas, según los datos del último informe de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC). Sumándole los movimientos en sentido inverso, este corredor alcanzó un tráfico anual de 1,83 millones de toneladas por ferrocarril (Transporte XXI, 2020).

En los siguientes apartados de este TFM se analiza la demanda potencial, el estudio económico de la propuesta para analizar su viabilidad, así como el estudio de la limitación de gálibo de uno de los túneles existentes en la línea que sería necesario ampliar, aportando una solución a esta problemática.

### **4.3. Estudio para el desarrollo de Autopistas Ferroviarias en la Península Ibérica**

El 16 de abril de 2015, el Ministerio de Fomento publicó el *“Estudio para el desarrollo de Autopistas Ferroviarias en la Península Ibérica”* mediante el cual analiza los aspectos técnicos de las AF y, sobre todo, estudia qué servicios podrían tener una demanda y una rentabilidad apta para establecerse como un servicio útil en nuestro país.

Lo que se va a realizar en este TFM es un análisis actualizando la información contenida en dicho informe, detallando para mayor investigación en el caso del corredor Madrid-Zaragoza-Barcelona.

A continuación, se incluye un resumen de la metodología que se realiza en dicho Estudio, el cual sirve de apoyo para la realización de este TFM.

#### **4.3.1. Resumen del Estudio del Ministerio de Fomento**

Se estudia la demanda global de mercancías con el objetivo de establecer la demanda captable y se caracteriza la oferta de transporte para identificar los servicios potencialmente interesantes. El mercado potencial de las Autopistas Ferroviarias (AF) es el transporte de mercancías por carretera, su trasvase.

El estudio de demanda se estructura en:

- Análisis de la demanda: caracterizar flujos de vehículos pesados.

- Proyección de los datos a 2018.
- Demanda apta: determinar los flujos captables por servicios de AF.
- Caracterización de la oferta de transporte.
- Análisis de servicios potencialmente interesantes para la implantación de AF.



**Ilustración 84: Estructura de la Fase II del Estudio (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

#### 4.3.1.1. Ámbito de estudio

En primer lugar, para realizar el estudio de demanda se establece un ámbito de estudio o zonificación con el fin de marcar unos límites espaciales donde enfocar el análisis. Además de estudiar las regiones de España y Portugal, se estudian las zonas con relevancia en el transporte de mercancías en el modo por carretera con origen y destino la península, presentando así la siguiente zonificación:

- Zonas internas (Europa):
  - Zonificación a nivel de provincia:
    - España.
  - Zonificación a nivel de región:
    - Portugal.
    - Francia.
  - Zonificación a nivel de país o agrupación de países:
    - Resto de la UE-27.
    - Suiza.
    - Resto de los países balcánicos.

- Península escandinava.
  - Países bálticos.
  - Turquía.
  - Este de Europa: Bielorrusia, Modavia y Ucrania.
- Zonas externas a Europa:
- Marruecos



**Ilustración 85: Zonificación del estudio analizado (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

#### 4.3.1.2. Caracterización de la demanda

Para analizar la demanda, en el Estudio se plantea la siguiente metodología:

##### 4.3.1.2.1. Metodología

En primer lugar, se determinan las fuentes de información para conocer el tráfico existente a fecha de estudio:

- **Encuesta Transit 2010** (Transit, 2010): se obtiene el tráfico de vehículos pesados a través de la frontera con Francia. Identifica flujos entre Península y resto de Europa. Hay información sobre orígenes y destinos, pasos fronterizos, tipo de mercancía, tonelaje medio, vehículos en vacío y tipo de vehículos.
- **Encuesta Permanente del Tráfico de Mercancías por Carretera** (EPTMC, 2013): tráfico de mercancías interior en España. Matriz Origen-Destino (O/D) entre provincias.

- **Encuesta de Tráfico de Mercancías Transfronterizo España-Portugal** (ITRT, 2008): intercambio de mercancías entre España-Portugal.
- **Estadísticas de las Autoridades Portuarias** de Bahía de Algeciras (Autoridad Portuaria de Algeciras, 2018), Barcelona y Valencia: evolución del tráfico de mercancías en puertos, en concreto del tráfico Ro-Ro.
- **Observatorio Estadístico del Transporte Marítimo de Corta Distancia en España 2009-2013** (Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia, 2018): evolución del tráfico Ro-Ro en los principales puertos del Mediterráneo.

Después, se realizan unas desagregaciones del tráfico de mercancías para conocer los tipos de vehículos apropiados para los servicios de Autopistas Ferroviarias, siguiendo estos criterios:

- **Tipología de vehículo:** conocer los vehículos apropiados para AF.
- **Tipología de mercancías:** se emplea la clasificación NST/R para determinar qué tipo de mercancías no son aptas para los servicios de AF.

Seguidamente, se estiman las matrices O/D para la clasificación de los flujos:

- Flujos internacionales:
  - Península Ibérica con el resto de Europa.
  - Flujos Ro-Ro de los puertos de Algeciras, Valencia y Barcelona.
  - Flujos de intercambio Portugal-España.
- Flujos nacionales.

#### 4.3.1.2.2. Tráfico “actual” de vehículos pesados en 2013

- Flujos entre Península Ibérica y Marruecos con el resto de Europa:
  - Encuesta de Transit 2010. Pasos fronterizos La Jonquera (Cat) y Biriattou (Irún).
  - Se utiliza la serie histórica, además del mapa de tráfico Ministerio vehículos pesados (VP) 2013: se analiza la tendencia.
  - Se estudia el origen, destino, tipo de VP, tipo de mercancías y tonelaje.
  - Marruecos: datos de puertos de Algeciras, Valencia y Barcelona.
  - Orígenes importantes: corredor Mediterráneo (Barcelona y Valencia), País Vasco y Navarra, seguido de Zaragoza y Madrid.
  - Destinos importantes: Barcelona, Madrid, Valencia, País Vasco y Navarra.

- Flujos Ro-Ro en los puertos:
  - “Observatorio Estadístico del Transporte Marítimo de Corta Distancia en España 2009-2013”.
  - Solamente se tiene en cuenta las mercancías en Ro-Ro de vehículos de transporte de mercancías.
  - Solo se tiene en cuenta el tráfico rodado de la fachada mediterránea que representan casi el 85 % del total y podrían ser relevantes para el establecimiento de servicios de Autopistas Ferroviarias en el interior de la Península.
  - Algeciras, Barcelona, Valencia, Almería, Castellón, Alicante, Tarragona, Italia, Marruecos, Argelia, Túnez, Turquía, Egipto.
- Flujos entre España y Portugal:
  - Encuesta de Tráfico de Mercancías Transfronterizo España-Portugal, del año 2008.
- Flujos interprovinciales en España:
  - Encuesta Permanente del Tráfico de Mercancías por Carretera (EPTMC), periodicidad anual.

#### 4.3.1.2.3. Tráfico en año horizonte de vehículos pesados

- **Marco macroeconómico:** se utiliza para estimar la evolución de la demanda de la movilidad.
  - Se utilizan las siguientes fuentes:
    - Previsiones macroeconómicas de la OCDE: PIB a largo plazo.
    - PITVI: principales previsiones que afectan al transporte.
  - Se multiplican las tasas de crecimiento de OCDE por la elasticidad media PIB – Toneladas transportadas de cada país. La elasticidad PIB-Transporte media para cada país se calcula con series históricas recientes.
  - Posteriormente para cada par origen-destino, se obtiene una tasa de crecimiento mediante el promedio ponderado de las tasas de los respectivos países.
- Evolución de los flujos entre la Península Ibérica y Marruecos con el resto de Europa.
- Evolución del flujo ro-ro en los principales puertos.
- Evolución de los flujos de intercambio España-Portugal.

- Evolución de los flujos de mercancías interiores.

#### 4.3.1.2.4. Análisis de la demanda global apta para AF

Una vez se han estudiado los datos existentes de tráfico, se analiza la demanda global apta para las Autopistas Ferroviarias:

- Metodología:

El mercado apto corresponde al conjunto de la demanda de vehículos pesados objetivo que podría acceder a los servicios de Autopista Ferroviaria desde un punto de vista técnico. Para el cálculo de esta demanda potencial se aplica un criterio de filtros sucesivos:

- Los tipos de vehículos pesados objetivo son los conjuntos cabeza tractora + semi-remolque.
- No se tienen en cuenta los camiones estándar que también realizan una parte de los flujos.
- No se tienen en cuenta los vehículos vacíos.
- A continuación, se aplica un filtro por tipo de mercancías ya que algunas cargas no son aptas para la Autopista Ferroviaria.

El último criterio corresponde al tamaño de los camiones, según el porcentaje existente de vehículos que puedan tener acceso a las Autopistas Ferroviarias previstas en la Península.

#### 4.3.1.2.5. Servicios potencialmente interesantes para la implantación de AF

Se realiza lo siguiente:

- Establecimiento de una distancia mínima de recorrido de la Autopista Ferroviaria, particularizada para los servicios peninsulares e internacionales.

Se considera una distancia mínima de recorrido de los servicios de Autopistas Ferroviarias de aproximadamente 600 km para las relaciones peninsulares y de 900 km para los servicios internacionales (relaciones transpirenaicas).

- Selección de las zonas origen-destino más relevantes en cuanto a demanda apta.

A partir del análisis de las zonas origen-destino con las demandas aptas más importantes, y dentro del rango de aproximadamente 600 km, se pueden deducir como zonas más atractivas para las relaciones nacionales de Autopistas Ferroviarias las siguientes provincias: Barcelona, Madrid, Valencia, Sevilla, Alicante, Almería, Pontevedra, Asturias, Murcia, Navarra y las tres provincias del País Vasco.

- Para las relaciones internacionales, a partir del análisis de las zonas origen-destino con las demandas aptas más importantes dentro del rango de aproximadamente 900 km, se deducen como zonas más atractivas para relaciones transpirenaicas: Alemania, Italia, Holanda, Bélgica, Reino Unido y la región de París (Île-de-France).
- Selección de las terminales más relevantes en cuanto a planificación de servicios: terminales internacionales las situadas en París, Dourges y Lyon en Francia, Dortmund en Alemania, Bettembourg en Luxemburgo y Orbassano en Italia.

A nivel nacional se toman como terminales más relevantes para el establecimiento de servicios de Autopistas Ferroviarias de ámbito internacional las situadas en Barcelona y Vitoria. En la primera actualmente existe una conexión con ancho de vía internacional, y en la segunda, se prevé que para el año horizonte del presente estudio cuente con una conexión de ancho de vía internacional.

Como puntos nacionales adicionales, y para posteriormente analizar la posibilidad de ampliar servicios hacia el interior de la península, se agregan terminales situadas en: Madrid, Valencia, Zaragoza y Sevilla.

- Selección de las relaciones origen-destino, teniendo en cuenta las zonas más relevantes por demanda apta y las terminales seleccionadas. Para establecer las relaciones origen-destino que se analizarán como posibles líneas de Autopista Ferroviaria, se superponen las zonas y las terminales más relevantes según los anteriores análisis. Se seleccionan en total 25 relaciones origen-destino entre terminales, de las cuales 5 relaciones son nacionales, 4 relaciones son peninsulares y 16 relaciones son internacionales (transpirenaicas):

- |                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| 1. Madrid – Barcelona       | 12. Barcelona – Orbassano |
| 2. Madrid – Sevilla         | 13. Barcelona – París     |
| 3. Barcelona – Sevilla      | 14. Vitoria – París       |
| 4. Barcelona – Vigo         | 15. Vitoria – Dourges     |
| 5. Vitoria – Sevilla        | 16. Madrid – Dortmund     |
| 6. Valencia – Lisboa        | 17. Madrid – Orbassano    |
| 7. Barcelona – Lisboa       | 18. Madrid – París        |
| 8. Valencia – Coimbra       | 19. Madrid – Dourges      |
| 9. Barcelona – Coimbra      | 20. Valencia – Dortmund   |
| 10. Barcelona – Dortmund    | 21. Sevilla – Dortmund    |
| 11. Barcelona – Bettembourg | 22. Sevilla – Dourges     |

23. Zaragoza – Bettembourg

25. Murcia – Dortmund

24. Zaragoza – Orbassano

#### 4.3.1.2.6. Formulaciones de elección modal

Las formulaciones de elección modal que se plantean en el Estudio están elaboradas a partir de las Encuestas de Preferencias Declaradas a las empresas transportistas. A partir de los resultados de las encuestas, se plantearon, calibraron y estimaron modelos de elección modal basados en la maximización de la utilidad.

Se realiza un LOGIT con diferentes atributos como el coste, el tiempo y la frecuencia, entre otros, de forma que cuanto mayor es la utilidad de una alternativa, más probabilidad habrá de que las empresas transportistas elijan ese modo.

Con ello, se obtiene el porcentaje de tráfico que elegirá el transporte por Autopistas Ferroviarias.

### **4.4. Estudio para el desarrollo de la Autopista Ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona**

En este apartado se analiza la demanda actual y se caracteriza el posible traspaso modal de vehículos para estimar y acotar el mercado potencial, además de prever la utilización de los servicios a prestar por la Autopista Ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona.

Como se ha dicho con anterioridad, se enfoca dicho análisis como una actualización de la información contenida en el Estudio anteriormente resumido y se detalla para mayor investigación el caso del corredor a estudiar.

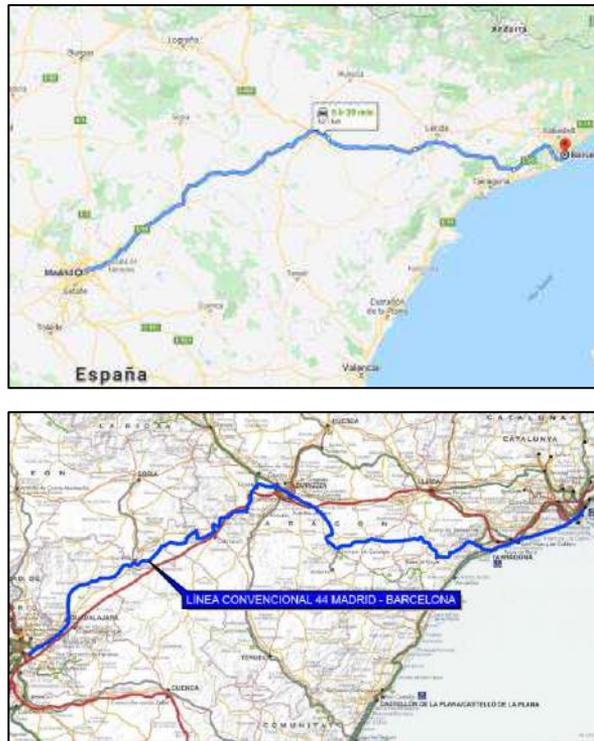
#### 4.4.1. Caracterización de la oferta de transporte

En primer lugar, para caracterizar la oferta de transporte en el corredor y llevar a cabo los servicios de transporte de mercancías puede afirmarse que está condicionada por las infraestructuras de transporte existentes, así como las infraestructuras futuras planificadas para el horizonte 2050.

Si bien puede decirse que, para el transporte de mercancías, en los términos que se buscan, hay tres modos de transporte (carretera, ferrocarril y avión), se descarta el avión al tener unas grandes desventajas que provocan que no esté alineado con los objetivos a medio-largo plazo en Europa en términos de contaminación. Aunque sea un modo de transporte rápido y sin barreras físicas, es un transporte adecuado para mercancías perecederas o de alto valor a largas distancias. De hecho, al ser un transporte muy costoso, variable a las condiciones climáticas, limitado de capacidad y con previsibles futuras restricciones legales, en este TFM no se considera un modo de transporte competitivo con el ferrocarril y la carretera.

Las características intrínsecas de las Autopistas Ferroviarias hacen que el ferrocarril compita directamente con el modo carretera.

Es por ello, que la caracterización de la oferta está basada en el estudio del corredor existente.



**Ilustración 86: Oferta de transporte en el corredor (Fuente: Elaboración propia)**

Debido a ello, la red de transporte que se emplea para determinar la demanda captable será la red de carreteras sobre la que se producirá la captación de flujos de mercancías, a pesar de que se emplee la red ferroviaria para el transporte.

A continuación, se analiza el corredor Madrid-Zaragoza-Barcelona, siendo éste uno de los itinerarios de entrada y salida de la Península Ibérica hacia el resto de Europa por el sureste de Francia y que ya se ha analizado los aspectos generales anteriormente.

Las distancias por carretera entre las tres ciudades principales del corredor son:

- Madrid-Barcelona: 621km.
- Madrid-Zaragoza: 307 km.
- Zaragoza-Barcelona: 314km.

Mientras que en ferrocarril convencional son:

- Madrid-Barcelona: 672 km.

- Madrid-Zaragoza: 339 km.
- Zaragoza-Barcelona: 333 km.

Madrid y Barcelona y sus periferias son dos de los centros económicos más importantes de España por lo que junto con su elevada población, 6.663.394 y 5.664.579 habitantes respectivamente (INE, 2019), suponen un importante corredor generador de viajes.

El corredor transita por otras ciudades intermedias en las que por tamaño cabe destacar las siguientes:

COMUNIDAD AUTÓNOMA	PROVINCIA	SUPERFICIE (Km <sup>2</sup> )	POBLACIÓN (habitantes 2018)	PIB (2015) A precios de mercado (M€)
CATALUÑA	GIRONA	39.14	749.656	20.044
	BARCELONA	101.35	5.515.147	150.817
	TARRAGONA	6.303	794.969	22.320
	LLEIDA	63	429.212	12.167
ARAGÓN	HUESCA	161	219.174	5.636
	ZARAGOZA	973.8	960.111	24.392
CASTILLA LA MANCHA	GUADALAJARA	235.5	256.029	4.637
COMUNIDAD DE MADRID	MADRID	604.3	6.550.000	204.304

**Ilustración 87: Superficie, población y PIB de las provincias del corredor (Fuente: Elaboración propia)**

#### 4.4.2. Análisis de la demanda de mercancías

Se estudia la demanda global de mercancías con el objetivo de establecer la demanda potencial y se caracteriza la oferta de transporte para identificar los servicios que pueden ser ajustarse mejor a las necesidades del mercado.

Los puntos a estudio en el análisis de la demanda son:

- Caracterización de los flujos de vehículos pesados del año 2019 (año de referencia).
- Proyección de la demanda para el año horizonte 2050.
- Cálculo de los flujos captables por la Autopista Ferroviaria.
- Identificación de la oferta.
- Identificación y selección de posibles servicios.

##### 4.4.2.1. Ámbito de estudio

Se plantea la misma zonificación, o ámbito de estudio, que el Estudio redactado por el Ministerio de Fomento en el año 2015, dado que se considera una zonificación apta para el nivel de análisis que se lleva a cabo en este TFM.

#### 4.4.2.2. Fuentes

Dado que el Estudio analizado se publicó en 2015, desde entonces se han realizado actualizaciones en diferentes informes y/o encuestas de datos. Es por ello por lo que en este TFM se han utilizado las siguientes fuentes de datos oficiales:

Fuente	Zona	Información
Observatorio hispano-francés de Tráfico en los Pirineos (mayo 2018 con datos 2015 y 2016)	Frontera con Francia (flujo Península con resto de Europa)	O/D, aforos y zonas de paso y tonelaje.
Encuesta Permanente del Tráfico de Mercancías por Carretera (EPTMC 2019)	Interior España (provincias)	O/D
Encuesta de Tráfico de Mercancías Transfronterizo España-Portugal (junio 2018 con datos de 2016)	España - Portugal	Tipo de mercancía, tipo vehículo y porcentaje vacío.
Estadísticas de las Autoridades Portuarias	Diferentes puertos del Estado	Tráfico RO-RO
Observatorio Estadístico del Transporte Marítimo de Corta Distancia en España 2013-2019	Puertos Mediterráneo	Tráfico RO-RO

**Ilustración 88: Fuente de datos de tráfico (Fuente: Elaboración propia)**

A partir de los datos anteriormente mencionados, se realiza una extracción de los datos de los flujos O/D de los puntos considerados en este estudio. Además, se hace una estimación de posible tráfico captable realizando las siguientes desagregaciones:

- **Tipología de vehículo:** solo se extraen vehículos que resultan apropiados para el transporte por AF.
- **Tipología de mercancías:** se ha elegido la clasificación de mercancías NST/R.

A partir de estos datos, se usan las matrices O/D deseadas. Para la construcción de la matriz se clasificarán los flujos según:

- Flujos internacionales:
  - Tráficos entre la Península Ibérica y el resto de los países colindantes.
  - Flujos Ro-Ro de los puertos.
  - Flujos de intercambio entre Portugal y España.
- Flujos interiores (interprovinciales).

#### 4.4.2.3. Tráfico actual de vehículos pesados

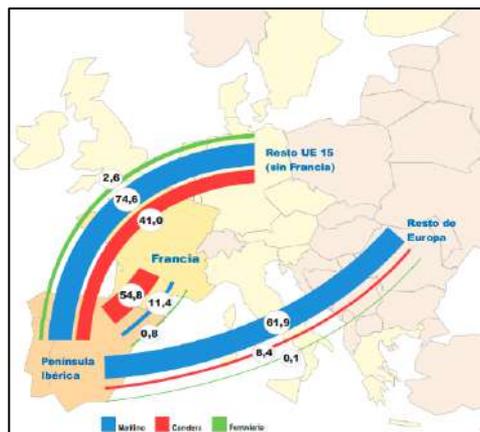
Para la estimación del tráfico se escoge como referencia el año 2019, proyectándose a dicho año de acuerdo con las regresiones que proporcionan los resultados hasta esa fecha según las tendencias que aportan.

– Flujos entre Península Ibérica, Francia y resto de Europa:

En este estudio, como anteriormente se ha descrito, se utiliza el mapa de tráfico que proporcionó el Ministerio de Fomento para el año 2018. En él se observa la IMD de los vehículos pesados totales. Considera que el porcentaje de vehículos pesados destinados al transporte de mercancías se ha mantenido constante desde el año 2010.



**Ilustración 89: Mapa de tráfico 2018 (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018)**

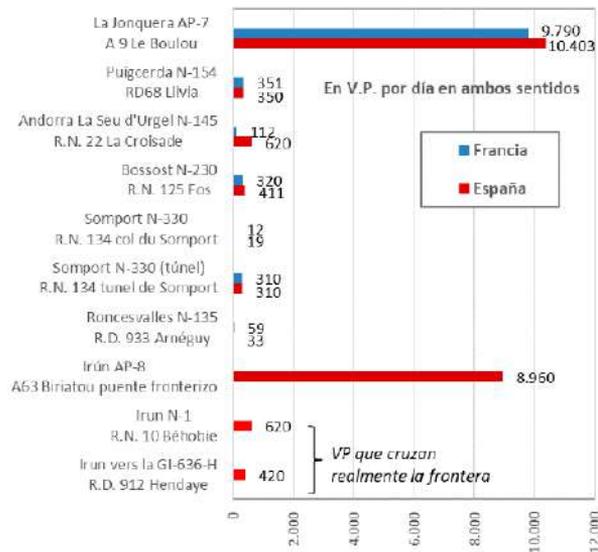


**Ilustración 90: Transporte de mercancías a través de los Pirineos en 2016 (millones de toneladas) (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019)**

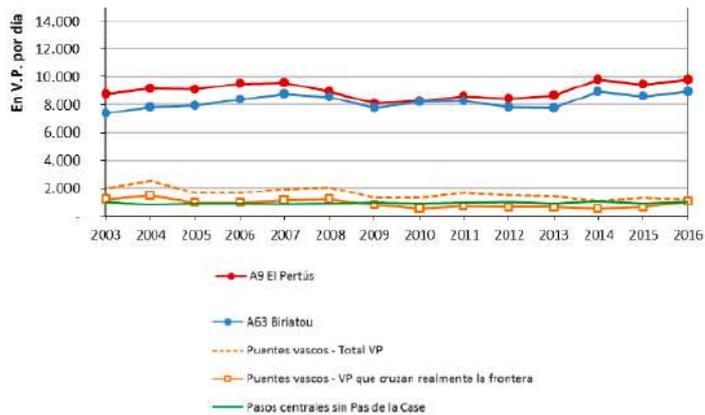
Hay un total de 27 conexiones por carretera entre España y Francia a través de los Pirineos, de diferentes categorías. Una de ellas conecta ambos países atravesando el principado de Andorra. Aun así, solo hay dos pasos fronterizos, que se consideran como principales, ya que representan el 96% del tráfico total: La Jonquera, en la zona mediterránea y Biriatau en la zona atlántica.



**Ilustración 91: Pasos fronterizos España-Francia (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019)**



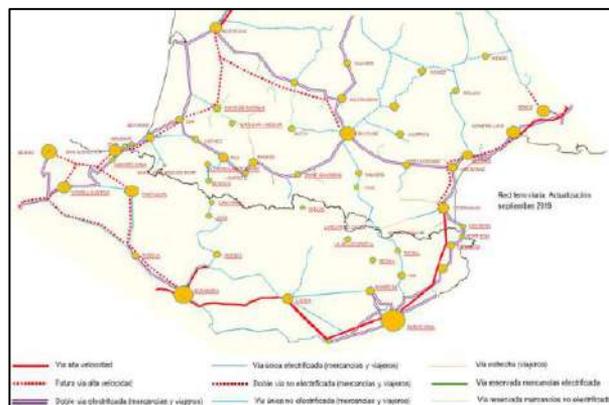
**Ilustración 92: IMD de vehículos pesados en los puntos fronterizos de mayor tráfico en 2016 (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019)**



**Ilustración 93: Evolución de vehículos pesado por día en los puntos fronterizos (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019)**

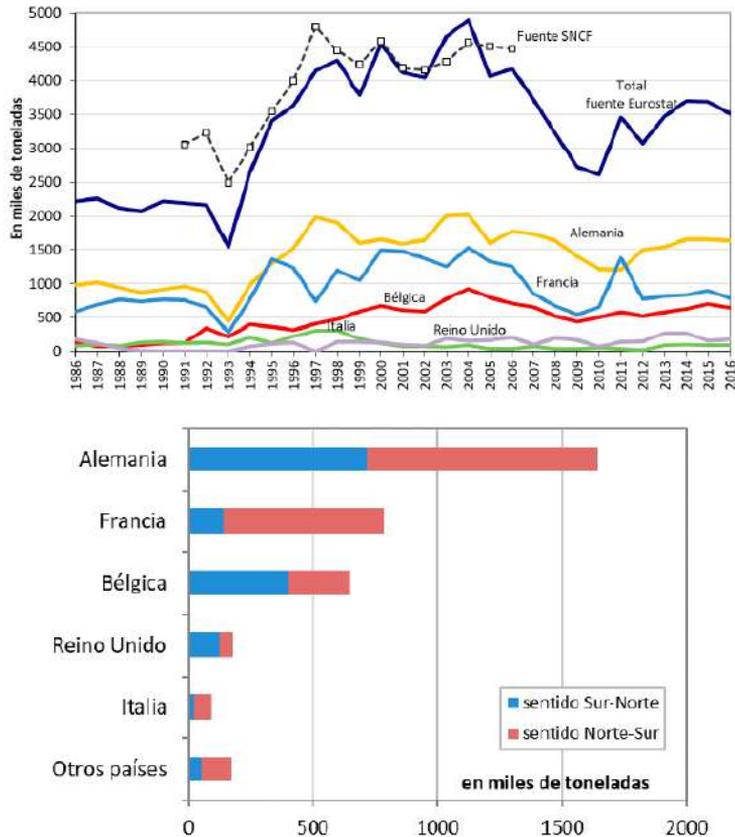
Respecto al tráfico ferroviario actual, existen un total de 6 líneas ferroviarias que atraviesan la frontera hispano-francesa:

- Irún – Hendaya.
- Lasarte Oria – Hendaya.
- Canfranc – sin continuación en la actualidad.
- Puigcerdà – la Tour de Carol.
- Figueres – Perpiñán.
- Portbou – Cerdère.



**Ilustración 94: Pasos fronterizos ferroviarios (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019)**

A continuación, se presenta la evolución de los flujos ferroviarios de mercancías entre la Península Ibérica y los países al otro lado de los Pirineos. Como puede observarse, en el año 2004 se alcanzó el valor máximo del transporte ferroviario de mercancías en la frontera. A partir de ese año, hasta el 2010, el transporte de mercancías decreció hasta un 47% para alcanzar su valor más bajo desde 1993, correspondiendo con la época de la crisis de la Gran Recesión. Desde entonces, la tendencia ha sido ascendente, permaneciendo estable con pequeños decrementos en los últimos años. Además, los principales orígenes-destinos en este tipo de transporte son Alemania, Francia y Bélgica, entre otros.

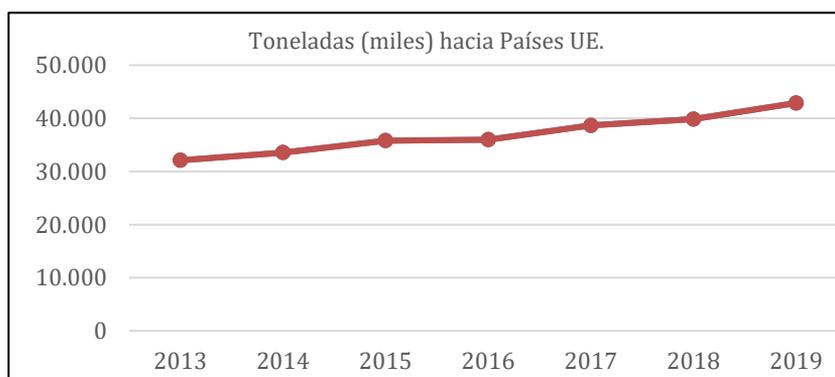


**Ilustración 95: Tráfico ferroviario de mercancías (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019)**

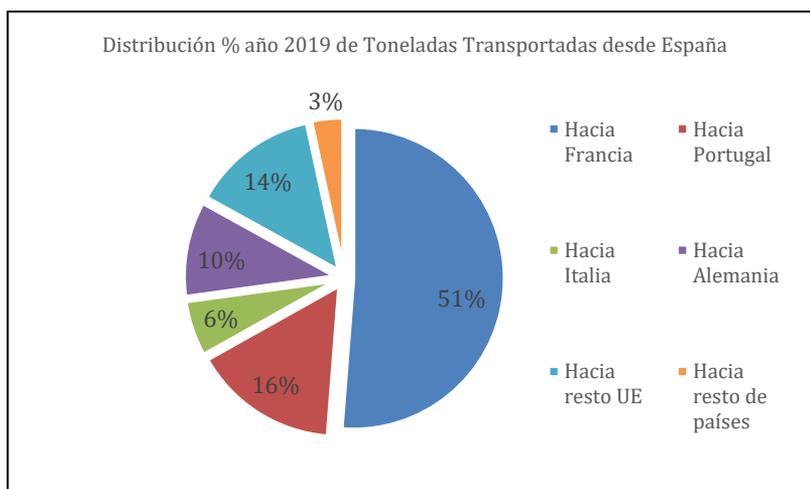
También, se han estudiado los datos procedentes de la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera, con la información que se presenta en las siguientes tablas. Atendiendo a los datos, y a las gráficas generadas, puede observarse que desde 2013 hasta 2019 el crecimiento anual ha sido de 5,60% de forma lineal, con un 51% de toneladas transportadas con destino Francia como punto destacable.

	Hacia países de la Unión Europea						Hacia resto de países
	Total	Hacia Francia	Hacia Portugal	Hacia Italia	Hacia Alemania	Hacia resto UE	
<b>Operaciones (Miles)</b>							
2013	2.298	1.154	320	137	297	315	75
2014	2.392	1.115	434	154	303	311	76
2015	2.582	1.208	415	169	324	372	94
2016	2.667	1.240	464	164	330	393	75
2017	2.865	1.424	459	155	329	396	102
2018	2.997	1.410	502	177	363	427	118
2019	3.114	1.531	558	168	348	391	118
<b>Toneladas (Miles)</b>							
2013	32.103	15.917	4.176	2.269	4.062	4.802	876
2014	33.552	15.671	5.679	2.521	4.014	4.739	928
2015	35.806	17.431	4.886	2.566	4.304	5.338	1.281
2016	35.988	16.816	6.222	2.440	3.950	5.568	993
2017	38.670	19.282	5.753	2.602	4.056	5.689	1.287
2018	39.851	19.151	5.874	2.777	4.614	5.977	1.459
2019	42.884	21.970	6.704	2.551	4.386	5.810	1.462
<b>Toneladas-kilómetro (Millones)</b>							
2013	35.548	12.096	2.334	3.288	7.724	9.350	757
2014	36.554	12.167	2.687	3.756	7.628	9.288	1.027
2015	38.820	12.905	2.431	3.823	7.962	10.626	1.073
2016	38.219	12.852	2.912	3.645	7.195	10.914	701
2017	40.730	14.447	2.699	3.888	7.594	11.159	944
2018	42.871	14.704	2.904	4.196	8.436	11.734	898
2019	44.381	16.210	3.254	3.729	8.331	11.522	1.335
<b>Distribución porcentual en año 2019 (%)</b>							
Operaciones	100,0	49,2	17,9	5,4	11,2	12,6	3,8
Toneladas	100,0	51,2	15,6	5,9	10,2	13,5	3,4
Toneladas-kilómetro	100,0	36,5	7,3	8,4	18,8	26,0	3,0

**Ilustración 96: Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019)**



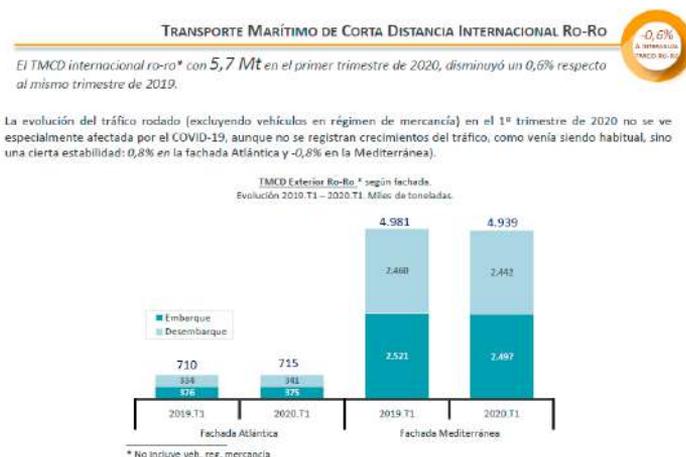
**Ilustración 97: Evolución de las toneladas hacia países UE (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 98: Distribución % año 2019 de toneladas transportadas desde España (Fuente: Elaboración propia)**

– Flujos Ro-Ro en los puertos:

Los datos de avance del primer trimestre del 2020 del Observatorio Estadístico del Transporte Marítimo de Corta Distancia en España (Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia, 2020) muestran un ligero descenso en lo que se refiere al transporte Ro-Ro internacional y más pronunciado en el total en España.

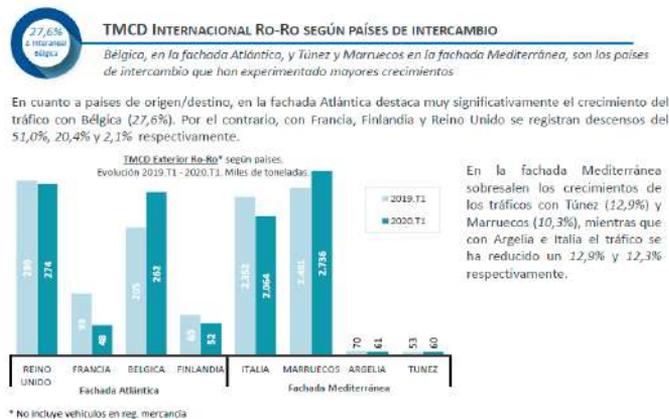


**Ilustración 99: Transporte marítimo de corta distancia internacional Ro-Ro (Fuente: Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia, 2020)**



**Ilustración 100: Transporte marítimo de corta distancia en España, total (Fuente: Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia, 2020)**

En la clasificación por países, Marruecos y Bélgica son los países de intercambio que han experimentado un crecimiento positivo de interés (Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia, 2020). Sin embargo, hay que destacar la gran pérdida con Francia en la Fachada Atlántica e Italia en la Mediterránea.



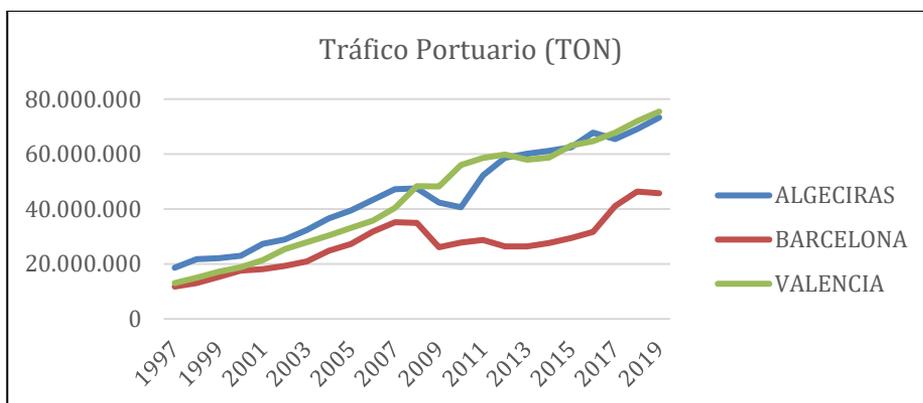
**Ilustración 101: TMCD Internacional Ro-Ro según países de intercambio (Fuente: Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia, 2020)**

En general, el tráfico rodado y la mercancía general contenerizada han experimentado descensos (3,0% y 1,6% respectivamente) respecto a las cifras registradas en el primer trimestre de 2019.

- Flujos entre Península Ibérica y Marruecos con el resto de Europa:

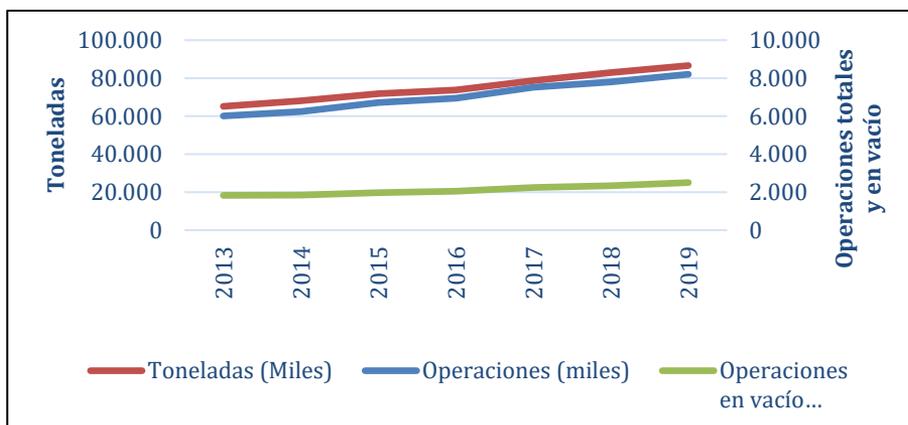
Teniendo en cuenta que el tráfico portuario característico es el de la fachada mediterránea, que representan casi el 85 % del total y es el que, caracterizado para el

establecimiento de servicios de Autopistas Ferroviarias en el interior de la Península, se muestra un gráfico general del tráfico en los últimos años de los tres puertos más representativos de la fachada mediterránea. Como se puede observar, en términos generales la tasa de crecimiento lineal del tráfico portuario representa un 13,33%, de crecimiento anual, en Algeciras, 13,13% en Barcelona y 21,73% en Valencia, salvo en la época de la Gran Recesión y su recuperación, especialmente en el puerto de Barcelona y Algeciras en los cuales el tráfico portuario disminuyó un 25,24% (en un año) y un 14,50% (en dos años), respectivamente, permaneciendo el tráfico relativamente estable durante 7 años en el caso del puerto de Barcelona durante su recuperación.



**Ilustración 102: Tráfico portuario (TON), Min. de T y M.U. (Fuente: Elaboración propia)**

En este sentido, se ha considerado como hipótesis que la totalidad del tráfico que accede desde Marruecos a la Península Ibérica, con destino final el norte de Europa desembarca en los puertos de Algeciras, Valencia y Barcelona.



**Ilustración 103: Evolución de las operaciones portuarias (Fuente: Elaboración propia)**

– Flujos entre España y Portugal:

La Encuesta de Tráfico de Mercancías Transfronterizo España-Portugal, publicada en junio del 2018 revela que los flujos de transporte de mercancías entre ambos países se desarrollan principalmente por carretera. Más de un 70% de las toneladas transportadas fueron en carretera, adquiriendo una cuota de casi un 7% del transporte marítimo del año 2015 al 2016.



**Ilustración 104: Flujos y estructura del transporte de mercancías entre España y Portugal por modo (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018)**

Aunque desde el año 2012 el volumen de mercancías transportadas entre España y Portugal han tenido un pequeño pero estable crecimiento (5,64% de tasa de crecimiento anual), lo cierto es que arrastra una gran caída entre los años 2008 y 2012 debido a la crisis que afrontó la península en esos años.



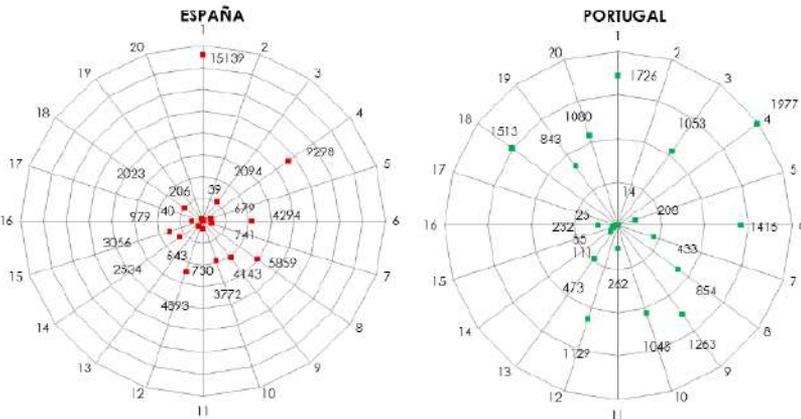
**Ilustración 105: Mercancías transportadas entre España y Portugal, por modos (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018)**

La gran parte del tráfico de vehículos pesado se genera en 3 puntos: Tui (puente nuevo)/Valença, Fuentes de Oñoro/Vilar Formoso y Badajoz/ Campo Maior. Los pasos del norte son generalmente tráfico soportado para transporte de mercancías a nivel europeo, con lo que la variación anual afecta en mayor medida a los pasos referidos.



**Ilustración 106: IMD de vehículos pesados en los principales pasos fronterizos (Fuente: Ministerio de Fomento, 2017)**

El volumen de mercancías del transporte por carretera en España y Portugal se desglosa por tipos de mercancía una dispersión variable.



**Ilustración 107: Tipología y volumen de mercancías transportadas en España y Portugal por modo carretera, en comercio internacional, en 2015, miles de toneladas (Fuente: Ministerio de Fomento, 2017)**

– Flujos interprovinciales en España:

La caracterización de los flujos de tráfico de vehículos pesados entre provincias de España se encuentra en la Encuesta Permanente del Tráfico de Mercancías por Carretera, realizada su última actualización en el año 2019. A continuación, se muestran unas tablas que hacen referencia a estos flujos interprovinciales con origen y destino la Comunidad de Madrid, Aragón y Cataluña.

**TRANSPORTE INTERIOR**  
Tabla 6.5 Operaciones de transporte (1) según Comunidades Autónomas de origen y de destino

DESTINO	Andalucía	Aragón	Asturias,	Balears,	Canarias	Cantabria	Castilla-La Mancha	Castilla y León	Cataluña	Comunidad Valenciana	Estra	Galicia	Madrid,	C. de	Madrid,	R. de	Navarra,	C. F. de	País Vasco	Rioja, La	Ceuta y Melilla	TOTAL DE	ORIGEN
Andalucía	27.302.790	48.028	5.802	-	-	17.002	552.398	88.900	967.671	387.690	394.289	31.008	282.663	502.039	21.004	39.534	7.659	-	-	-	-	23.843.391	Andalucía
Aragón	60.428	6.514.657	9.033	-	-	23.464	96.672	177.362	882.779	323.211	5.935	23.903	19.176	29.025	256.016	140.723	63.179	-	-	-	-	8.839.728	Aragón
Asturias, P. de	20.622	16.622	4.137.116	-	-	60.607	18.626	155.535	32.003	5.240	5.486	292.225	36.436	6.400	5.746	59.746	3.270	-	-	-	-	4.796.943	Asturias, P. de
Balears, Illes	-	-	-	4.611.304	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.787.061	Balears, Illes
Canarias	-	-	-	-	8.072.901	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.072.900	Canarias
Cantabria	22.823	24.899	57.891	-	-	2.797.729	14.905	188.662	25.880	16.675	8.591	24.335	61.895	1.233	14.863	300.677	14.786	-	-	-	-	3.528.804	Cantabria
Castilla-La Mancha	410.625	84.764	23.535	-	-	23.274	7.816.311	283.197	170.541	746.365	120.652	72.101	246.891	243.684	38.710	80.220	95.395	-	-	-	-	12.383.332	Castilla-La Mancha
Cataluña	111.000	171.290	165.295	-	-	197.790	241.639	11.572.954	47.984	154.732	101.224	257.449	502.232	23.313	154.956	498.042	814.710	-	-	-	-	14.537.818	Cataluña
Com. Valenciana	231.668	880.331	25.727	-	-	22.201	150.838	149.965	29.322.087	718.296	19.695	73.366	299.540	124.939	106.789	172.486	33.249	-	-	-	-	32.394.249	Com. Valenciana
Extremadura	445.189	288.979	16.271	-	-	19.762	685.329	117.562	675.972	23.178.182	32.339	51.686	413.995	1.233.086	51.306	68.688	19.778	-	-	-	-	27.430.630	Extremadura
Galicia	309.855	2.541	2.263	-	-	1.274	106.465	165.205	14.897	23.191	3.297.607	7.854	90.201	13.233	2.011	9.488	2.499	-	-	-	-	4.000.494	Galicia
Madrid, C. de	51.002	25.441	221.095	-	-	22.504	58.406	278.509	51.839	62.303	5.174	12.711.198	149.153	8.840	8.897	92.000	3.204	-	-	-	-	13.749.915	Madrid, C. de
Navarra, C. F. de	382.188	194.002	40.422	-	-	21.032	2.303.416	576.695	240.630	353.147	86.273	153.394	13.237.259	96.227	37.773	128.446	23.202	-	-	-	-	17.866.431	Navarra, C. F. de
País Vasco	509.228	31.025	5.365	-	-	4.508	298.189	33.451	183.738	1.995.215	10.660	18.954	86.296	6.871.603	10.118	13.801	4.148	-	-	-	-	8.148.212	País Vasco
Rioja, La	29.720	245.268	8.313	-	-	20.461	38.724	12.574	12.277	48.278	3.539	15.662	59.269	6.097	3.472.141	441.956	285.717	-	-	-	-	4.896.866	Rioja, La
Ceuta y Melilla	42.724	169.898	62.800	-	-	325.279	51.995	900.366	124.996	124.996	5.093	68.276	110.891	16.104	492.399	7.288.940	149.029	-	-	-	-	3.987.859	Ceuta y Melilla
TOTAL DE DESTINO	12.391	58.651	3.629	-	-	9.863	23.054	79.303	40.838	25.648	3.117	3.902	31.798	5.442	286.614	131.695	1.097.657	-	-	-	-	1.917.267	TOTAL DE DESTINO
TOTAL DE DESTINO	29.938.620	8.803.119	4.784.886	4.822.488	8.075.575	3.526.980	12.214.954	14.623.077	32.262.230	27.352.016	4.063.904	13.763.314	17.800.955	8.186.589	4.905.334	9.403.643	1.810.625	111.143	206.413.140	96.187	110.241	14.605	TOTAL DE DESTINO
País Vasco de origen CCAA	2.536.630	2.258.462	647.710	211.934	2.474	783.250	4.398.644	2.871.124	2.880.204	4.198.833	772.297	1.059.116	4.463.637	2.315.936	143.733	218.703	712.378	16.863	33.827.468	46.045	33.827.468	14.863	País Vasco de origen CCAA

**Ilustración 108: Operaciones de transporte según Comunidades Autónomas (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019)**

**TRANSPORTE INTERIOR**  
Tabla 6.6 Operaciones en vacío según Comunidades Autónomas de origen y de destino

ORIGEN	DESTINO	Andalucía	Aragón	Asturias	P.de	Balears.	Illes	Cantarias	Cantabria	Castilla-La Mancha	Castilla y León	Cataluña	Comunidad Valenciana	Extre- madura	Galicia	Madrid	C.de	Murcia	R.de	C.F.de	Navarra	País Vasco	Rioja, La	Ceuta y Melilla	TOTAL DE ORIGEN	DESTINO			
Andalucía	12.786.825	3.891	-	-	-	648	152.325	10.871	7.209	55.779	80.851	3.262	41.584	248.034	4.009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.345.336	Andalucía		
Aragón	1.105	3.178.594	459	-	5.208	18.381	43.859	311.911	68.012	636	1.309	26.313	747	97.246	18.932	26.179	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.800.001	Aragón	
Asturias	1.448	1.622	2.061.033	-	18.164	987	57.877	1.310	877	371	98.135	1.859	-	-	10.295	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.253.248	Asturias, P. de	
Balears.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.283.744	Balears. Illes	
Cantarias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.817.322	Cantarias	
Cantabria	-	4.521	32.884	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.728	1.377	-	-	-	1172	18.374	7.838	-	-	-	-	1.661.715	Cantabria	
Castilla-La Mancha	70.743	32.578	1.904	-	1.743	3.862.500	90.857	5.773	238.273	23.006	2.859	880.825	37.758	3.859	5.224	4.749	-	-	-	-	3.859	3.224	4.749	-	-	-	5.238.209	Castilla-La Mancha	
Castilla y León	5.383	49.857	47.895	-	37.744	75.280	6.894.888	7.433	3.490	23.124	75.025	112.521	2.270	43.542	162.261	46.712	-	-	-	-	43.542	162.261	46.712	-	-	-	6.502.365	Castilla y León	
Cataluña	7.041	258.675	-	-	-	18.558	7.834	13.458.776	170.637	477	1.101	6.818	10.507	6.880	7.404	5.423	-	-	-	-	6.880	7.404	5.423	-	-	-	13.972.609	Cataluña	
Com. Valenciana	61.092	98.625	-	-	-	202.726	9.558	16.471	10.283.682	2.201	618	19.950	543.382	10.840	2.634	1.307	-	-	-	-	10.840	2.634	1.307	-	-	-	11.394.543	Com. Valenciana	
Extremadura	149.200	-	-	-	-	-	59.496	51.629	-	-	-	1.177	1.589.330	684	23.053	1106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.877.245	Extremadura	
Galicia	2.229	-	-	-	2.202	2.249	78.305	-	1.050	-	6.098.909	3.572	1130	1.688	3.281	1.604	-	-	-	-	1.688	3.281	1.604	-	-	-	6.276.833	Galicia	
Madrid, C. de	22.843	44.102	-	-	-	124.460	238.195	12.240	53.425	2.322	5.671	6.073.087	18.432	7.884	5.713	10.866	-	-	-	-	7.884	5.713	10.866	-	-	-	7.727.647	Madrid, C. de	
Murcia, R. de	112.955	4.202	-	-	-	68.014	1.379	7.841	410.015	2.575	-	2.289	2.815.854	-	-	-	-	-	-	-	473	-	-	-	-	-	3.418.196	Murcia, R. de	
Navarra, C.F. de	1.382	93.184	888	-	3.275	5.670	41.715	17.435	2.710	-	412	1.913	1.467.579	194.286	11.680	-	-	-	-	-	1.467.579	194.286	11.680	-	-	-	1.972.599	Navarra, C.F. de	
País Vasco	1.756	35.205	13.899	-	145.149	8.230	105.731	9.378	5.664	486	2.352	12.309	370	198.821	3.458.704	75.673	-	-	-	-	198.821	3.458.704	75.673	-	-	-	4.144.047	País Vasco	
Rioja, La	695	19.204	634	-	1.281	4.044	34.933	5.057	1.088	533	-	1.742	-	135.591	41.038	524.316	-	-	-	-	135.591	41.038	524.316	-	-	-	769.786	Rioja, La	
Ceuta y Melilla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48.959	Ceuta y Melilla	
<b>TOTAL DE DESTINO</b>	<b>13.209.144</b>	<b>3.936.015</b>	<b>2.238.963</b>	<b>2.175.598</b>	<b>3.816.304</b>	<b>1.615.107</b>	<b>5.671.567</b>	<b>6.746.286</b>	<b>14.038.863</b>	<b>11.353.284</b>	<b>1.795.081</b>	<b>6.295.048</b>	<b>7.488.513</b>	<b>3.740.830</b>	<b>4.925.584</b>	<b>846.035</b>	<b>48.959</b>	<b>48.959</b>	<b>90.356.995</b>	<b>1.972.300</b>	<b>4.925.584</b>	<b>575.800</b>	<b>321.721</b>	<b>9.702.787</b>	<b>9.702.787</b>	<b>90.356.995</b>	<b>TOTAL DE DESTINO</b>		
Del total recibido de otras CC.LL.		452.789	657.022	177.830	3.078	25.724	1.088.059	941.460	571.087	1.068.883	188.831	186.138	110.596	924.377	594.722	594.722	-	-	-	-	594.722	575.800	321.721	-	-	-	-	9.702.787	Del total recibido de otras CC.LL.

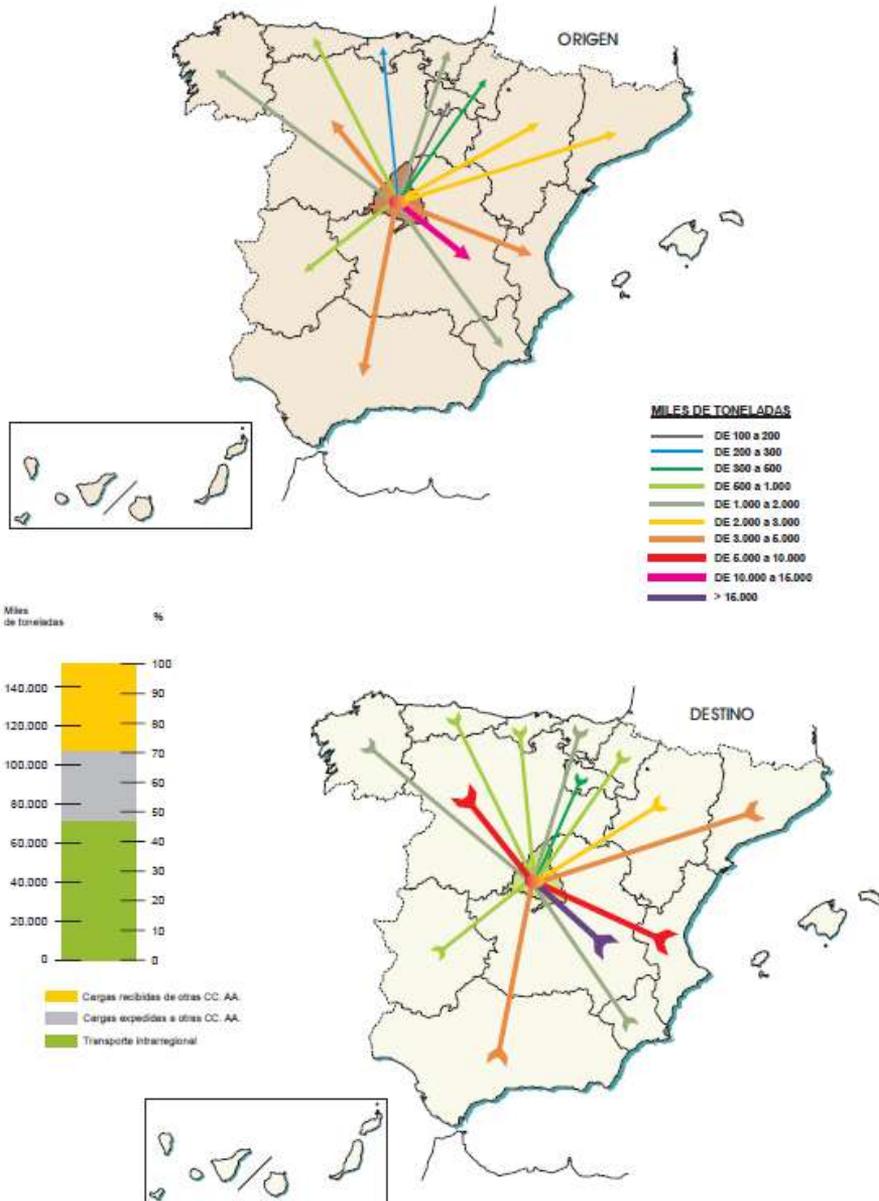
**Ilustración 109: Operaciones en vacío según Comunidades Autónomas (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019)**

**TRANSPORTE INTERIOR**  
Tabla 6.7. Toneladas transportadas según Comunidades Autónomas de origen y de destino

(Miles de tn)		(Miles de tn)																				
DESTINO	ORIGEN	ORIGEN																				
DESTINO	ORIGEN	Andalucía	Aragón	Asturias, P. de	Baleares, Illes	Cantarias	Cantabria	Castilla-La Mancha	Castilla y León	Cataluña	Comunidad Valenciana	Extremadura	Galicia	Madrid, C. de	Murcia	N. de España, C. de	País Vasco	Rioja, La	Ceuta y Melilla	TOTAL DE ORIGEN	Del cual expedido a otras CC.AA.	
Andalucía	192.195	673	78	-	-	219	3.405	1.417	2.853	5.242	4.890	488	3.137	3.846	377	548	162	-	-	218.960	26.805	
Aragón	784	44.883	137	-	-	271	1.210	1.844	8.439	5.059	75	383	2.271	428	2.274	1.810	797	-	-	76.762	28.688	
Asturias, P. de	279	301	28.780	-	-	688	313	1.397	344	326	188	2.243	560	107	103	827	63	-	-	36.481	7.671	
Baleares, Illes	-	-	-	22.383	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.213	830	
Cantarias	-	-	-	-	44.835	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44.835	-	
Cantabria	249	428	383	-	20.694	189	2.102	419	169	36	247	590	27	178	2.947	134	-	-	-	28.701	8.096	
Castilla-La Mancha	5183	884	318	-	260	51.030	2.854	8.337	2.043	8.337	1.427	847	16.898	2.489	595	951	140	-	-	84.237	42.287	
Castilla y León	1.886	2.019	1.983	-	2.970	2.984	78.628	2.274	2.045	1.231	3.483	5.619	377	1.903	5.562	535	-	-	-	113.042	34.195	
Cataluña	2.713	10.000	288	-	349	1.823	1.840	183.521	8.038	361	895	3.721	1.687	1.301	2.448	434	-	-	-	220.240	36.719	
Com. Valenciana	4.392	3.146	175	-	202	7.181	1.690	7.394	193.437	399	951	5.309	7.906	624	1.374	182	-	-	-	195.572	42.135	
Extremadura	2.534	44	18	-	31	770	937	247	477	18.479	107	889	227	62	138	50	-	-	-	24.989	6.508	
Galicia	770	445	2.482	-	290	788	3.463	667	1.022	121	85.031	1.790	162	123	1.552	16	-	-	-	98.780	12.719	
Madrid, C. de	4.111	2.088	591	-	284	10.329	3.900	2.649	3.640	657	1.513	71.448	1.131	397	14.533	161	-	-	-	107.422	36.974	
Murcia, R. de	5.899	389	63	-	103	3.209	343	1.278	9.888	112	238	1.283	36.128	189	167	97	-	-	-	59.008	22.880	
Navarra, C. F. de	402	2.641	162	-	247	470	1.344	1.592	683	68	313	827	104	21.961	3.841	1.648	-	-	-	36.284	14.323	
País Vasco	688	1.988	880	-	2.849	695	5.700	1.735	1.244	53	1.182	1.252	277	4.898	45.954	973	-	-	-	76.374	24.420	
Rioja, La	118	774	46	-	123	303	687	437	329	45	37	425	75	1.634	1.245	6.139	-	-	-	12.390	6.291	
Ceuta y Melilla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	26	
<b>TOTAL DE DESTINO</b>	<b>221.839</b>	<b>70.840</b>	<b>36.313</b>	<b>25.497</b>	<b>44.846</b>	<b>23.490</b>	<b>87.488</b>	<b>108.269</b>	<b>216.908</b>	<b>260.255</b>	<b>27.722</b>	<b>97.468</b>	<b>115.918</b>	<b>54.775</b>	<b>36.181</b>	<b>76.782</b>	<b>11.509</b>	<b>790</b>	<b>1.458.890</b>	<b>348.941</b>	<b>348.941</b>	
Del cual recibido de otras CC.AA.	23.884	25.976	7.534	3.194	11	8.886	38.468	29.642	32.387	46.818	9.243	12.437	44.470	18.846	14.319	24.828	5.370	216	-	-	-	-

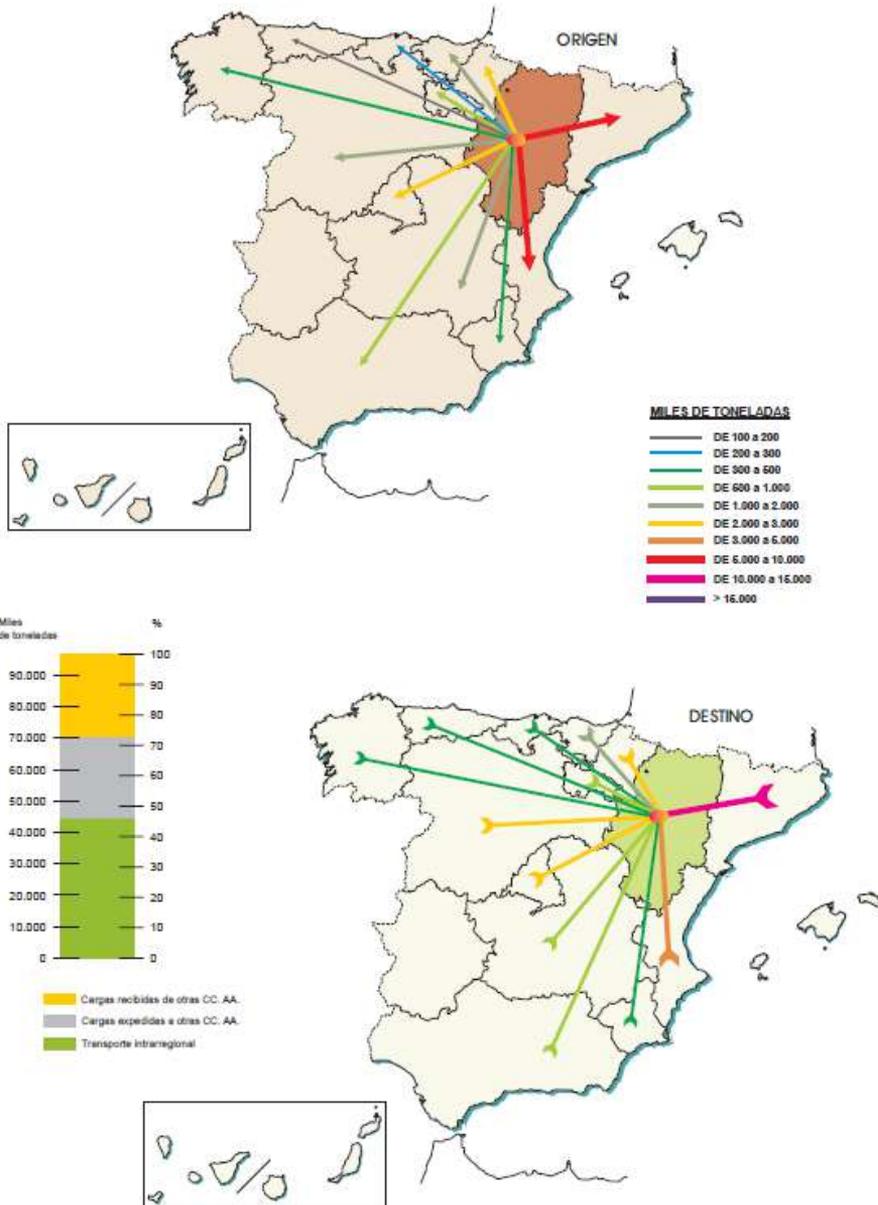
**Ilustración 110: Toneladas transportadas según Comunidades Autónomas (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019)**

M14. FLUJOS INTERREGIONALES. COMUNIDAD DE MADRID



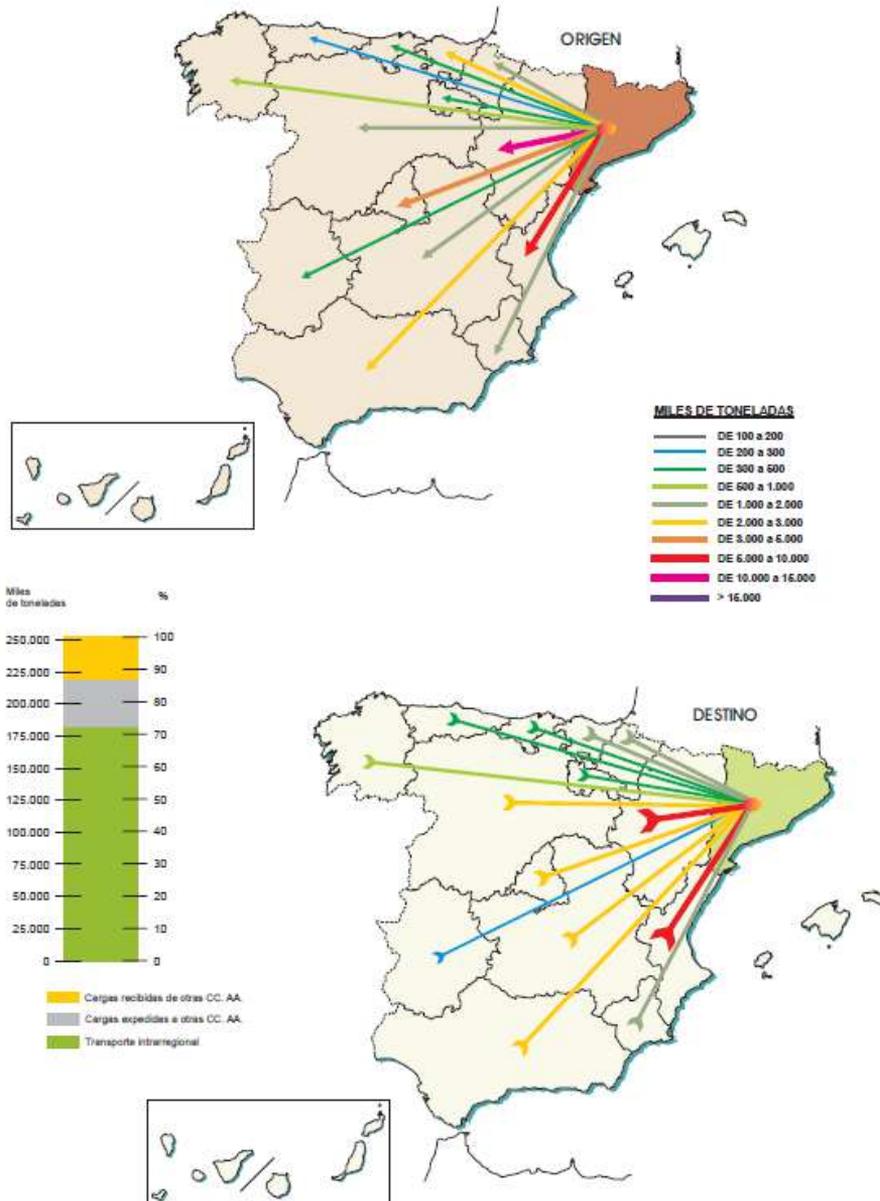
**Ilustración 111: Flujos interregionales, Comunidad de Madrid (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019)**

M5. FLUJOS INTERREGIONALES. ARAGÓN



**Ilustración 112: Flujos interregionales, Aragón (Fuente: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019)**

M10. FLUJOS INTERREGIONALES. CATALUÑA



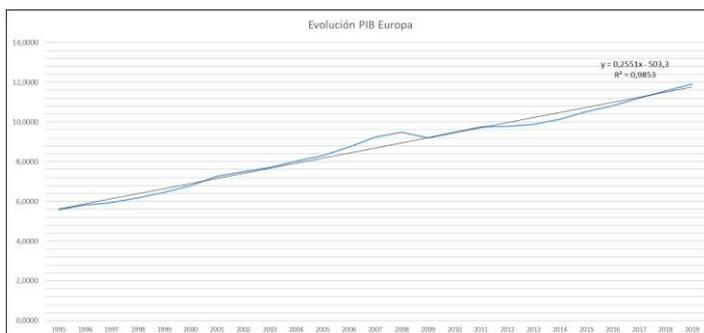
**Ilustración 113: Flujos interregionales, Cataluña (Fuente: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019).**

#### 4.4.2.4. Tráfico en año horizonte de vehículos pesados

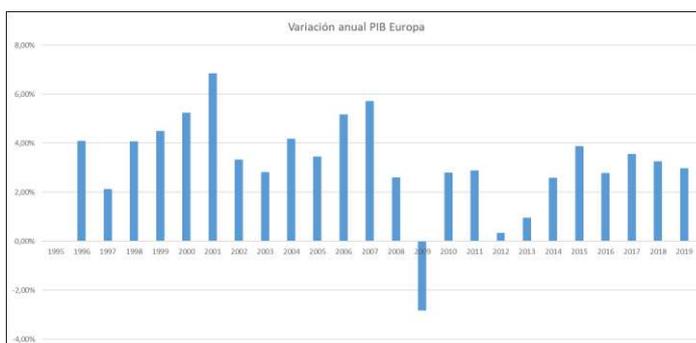
Para poder realizar una estimación del crecimiento de la demanda de tráfico, se analiza el entorno macroeconómico tanto en Europa como en España, para conocer las variaciones ocurridas hasta la fecha y poder estimar así el tráfico hasta año horizonte (2050). Las proyecciones de este estudio se basan en comparar los resultados obtenidos con los objetivos perseguidos por la Unión Europea ya profundizados en el presente TFM, por lo que se marca como límite temporal 2050.

– **Entorno macroeconómico:**

Analizando el Producto Interior Bruto (PIB) de Europa y su evolución, así como la inflación, puede observarse en los siguientes gráficos que éste presenta un crecimiento similar a una recta (a excepción de los años de gran expansión y recesión) y que, por lo tanto, para estudiar su evolución podría analizarse con series temporales y asumir un crecimiento medio correspondiente al crecimiento medio tendencial de la serie temporal. En este caso, analizando el histograma de variación se observa que la media de las variaciones supone un valor del 3,22% interanual.

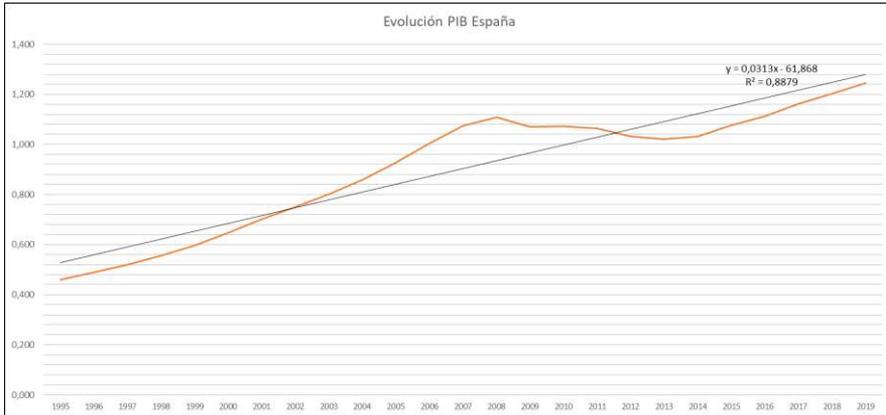


**Ilustración 114: Evolución PIB en Europa (Fuente: Elaboración propia)**

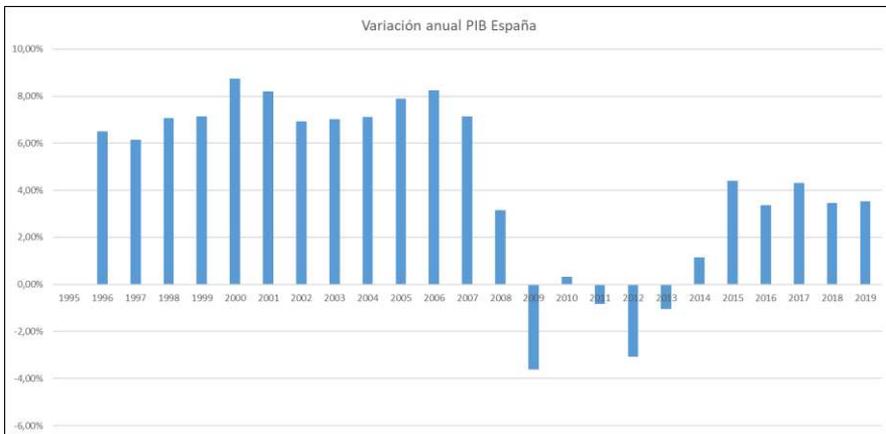


**Ilustración 115: Variación anual del PIB en Europa (Fuente: Elaboración propia)**

Del mismo modo ocurre con el PIB de España a excepción de que estos procesos de expansión y recesión se encuentran más acentuados, por lo que la tendencia media sería menos representativa de la realidad. Analizando el histograma de variación se observa que la media de las variaciones supone un valor del 4,31% interanual.



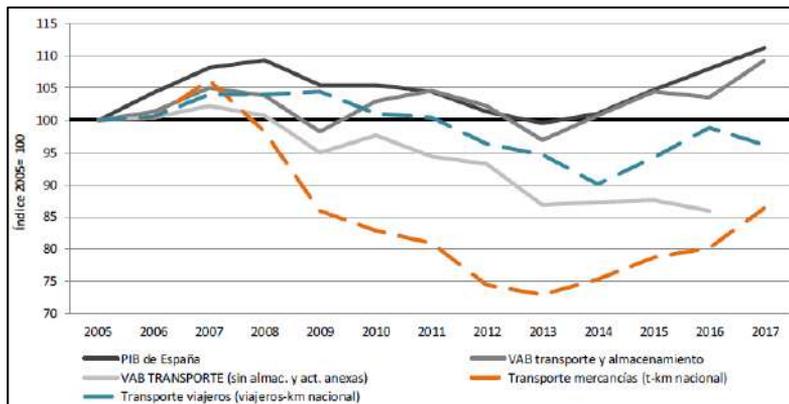
**Ilustración 116: Evolución PIB en España (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 117: Variación anual del PIB en Europa (Fuente: Elaboración propia)**

– Relación PIB-Tráfico de mercancías:

En cuanto a la relación de los datos del Producto Interior Bruto (PIB) y la demanda del tráfico de mercancías, así como la elasticidad de esta en función de los cambios del PIB, en el Observatorio de Transporte y la Logística de España (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019) se analizan los datos de los últimos años.

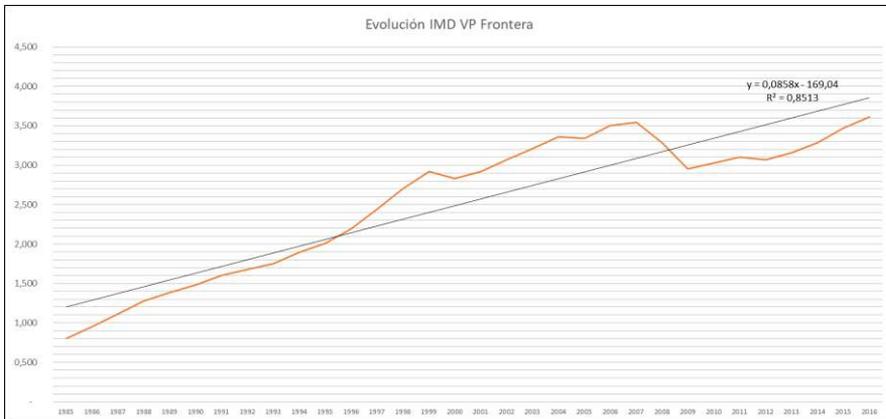


**Ilustración 118: Evolución del PIB y la movilidad interior de mercancías (Fuente: Secretaría General de Transportes, 2019)**

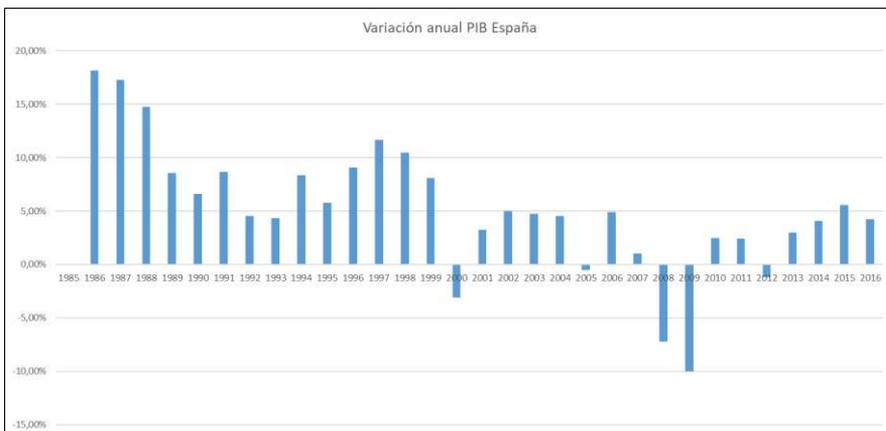
Se puede observar que, al igual que se comenta también en las anteriores ediciones del Observatorio, durante la fase de contracción de la economía, la intensidad del ciclo de la movilidad interior de mercancías fue mayor que la del PIB, mientras que en la fase de expansión de la economía (2014-2017), también ha sido de mayor intensidad el crecimiento del transporte interior de mercancías en comparación con el experimentado por el PIB.

Hay artículos como el redactado por investigadores de TRANSyT en el año 2014 con título “¿Evoluciona la demanda de transporte de mercancías por carretera de acuerdo al PIB? Análisis de los factores que han generado el desacoplamiento actual en países europeos” que hablan de que en los últimos años se han observado evidencias empíricas de que existe un desacoplamiento entre la economía y el transporte de mercancías por carretera (Alises, 2014). Demuestran cómo la demanda de transporte de mercancías por carretera está creciendo, de forma generalizada, con tasas más bajas que la economía, e incluso en algunos países europeos se han observado disminuciones de la misma en periodos de crecimiento del PIB. Sin embargo, al igual que se afirma en el Observatorio de Transporte y la Logística de España (Secretaría General de Transportes, Marzo 2019), el desacoplamiento que se observa en algunos años tiene seguidamente un “reacoplamiento” que permite recuperar este patrón producido en ciertos años.

Siguiendo esta idea de la relación PIB-Tráfico de mercancías, se ha analizado la evolución de la IMD anual de vehículos pesados en el paso fronterizo de Le Perthus para estudiar y comparar la evolución del PIB con dicha evolución. Observando las siguientes gráficas que se muestran a continuación, puede observarse que hay una relación directa entre las variaciones del PIB y las variaciones en el tráfico de mercancías. Es por ello por lo que para estimar la evolución al año horizonte 2050 se aplica una media de crecimiento que equivale al crecimiento observado en el PIB nacional y europeo, así como al crecimiento observado en las siguientes gráficas, obteniendo por tanto una **tasa de crecimiento anual del 4,22%** de forma lineal.



**Ilustración 119: Evolución de la IMD anual de vehículos pesados el paso fronterizo de Le Perthus (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 120: Variación anual de la IMD de vehículos pesados el paso fronterizo de Le Perthus (Fuente: Elaboración propia)**

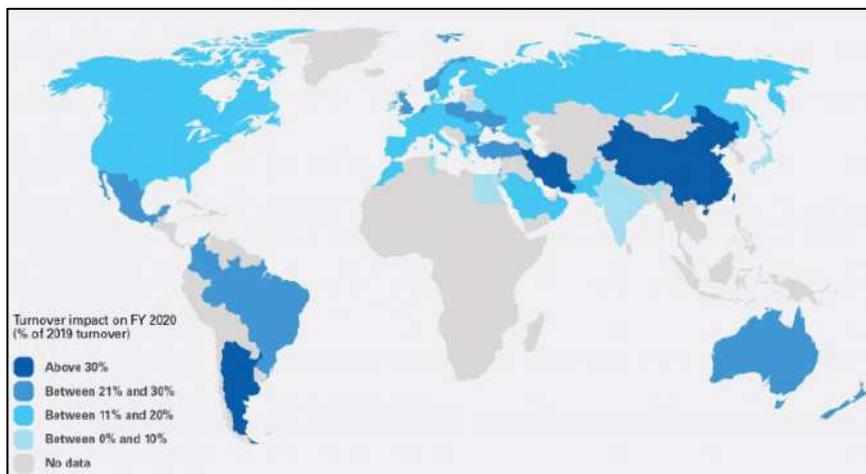
– Efecto de la COVID-19 en el tráfico de mercancías:

Aunque por el momento no se pueden realizar unas conclusiones firmes sobre el impacto de la crisis sanitaria en el transporte de mercancías actual, sí que empiezan a observarse las primeras conclusiones hasta la fecha de organismos o entidades públicas y/o privadas.

Entre ellas, **Wtransnet** (la bolsa de cargas líder en la Península Ibérica) hace un análisis sobre la evolución del transporte durante las semanas afectadas por la pandemia del

coronavirus (Transporte profesional, 2020). Atendiendo a los números de los cuatro principales destinos de nuestra mercancía (Francia, Italia, Alemania y Portugal), solo ha habido un descenso significativo en los números del mercado francés, con un 36% menos que en 2019. Bajadas moderadas en Italia y Alemania (-5% y -16% respectivamente) y un aumento del 12% en los flujos con Portugal. En relación a las cargas con origen y destino España, solamente se ha detectado un descenso del 8% en el mes de marzo.

La **Organización Internacional del Transporte (IRU)** ha realizado también un estudio para medir el impacto de la COVID-19 en el sector del transporte que revela que la disminución de la facturación de las empresas de transporte de mercancías a nivel mundial será del 18% en 2020 y de un 17% en Europa (Confederación Española de Transporte de Mercancías, 2020). La organización señala que estos resultados se deben a las restricciones que se han impuesto al transporte y la recesión económica causada por la pandemia.



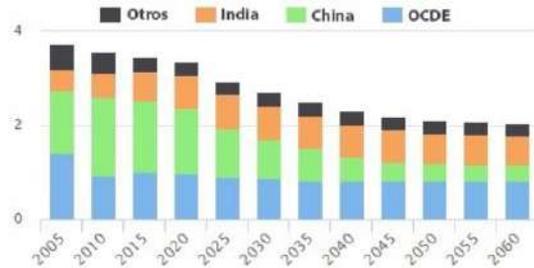
**Ilustración 121: Impacto en el transporte de mercancías por la COVID-19 en el mundo (Fuente: Organización Internacional del Transporte, 2020)**

– Efecto de la desglobalización en el crecimiento:

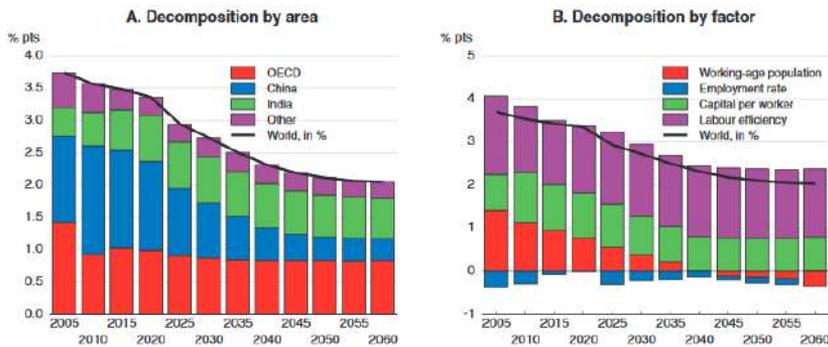
A todo esto, hay que añadirle las previsiones macroeconómicas modeladas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Dicha fuente prevé un escenario de referencia estático sin reformas relevantes, el PIB per cápita en los países de la OCDE aumentará entre 1.5% y 2% por año durante los próximos 40 años.

La OCDE prevé que hasta el 2060 se producirá una desaceleración del crecimiento económico y un incremento de la desigualdad. El envejecimiento de la población en muchos países de la OCDE y la desaceleración de las actuales tasas de crecimiento en

los países emergentes harán que el crecimiento anual se frene y establezca alrededor del 2%.



**Ilustración 122: Crecimiento real del PIB por área, en puntos porcentuales y escenario base**  
 (Fuente: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2020)



**Ilustración 123: Descenso de la producción potencial con arreglo a las políticas actuales**  
 (Fuente: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2020)

Desde los años 60 se ha entendido como natural, el crecimiento de las exportaciones e importaciones sobre el PIB y están han sido alimentadas por una globalización cada vez más sedienta de productos y materias primas.

Este crecimiento natural se ha visto frenado el último año y medio con políticas de comercio de proximidad, relocalización de la producción (dejar de deslocalizar, al no compensar lo suficiente) y nuevos fenómenos de como el Brexit hacen más frágil el sistema que parecía hace pocos años imparable. Esta desaceleración es conocida como proceso de **desglobalización**.

La crisis de la **COVID-19**, como se ha comentado con anterioridad, ha acelerado aún más este proceso de contracción de los procesos productivos e intercambio internacional.

Todo esto, es un aspecto relevante para la toma de decisión en las estimaciones de crecimiento para el año horizonte. Los grandes cambios que estamos enfrentando hacen

prever un escenario en el que el crecimiento del pasado no garantiza el crecimiento sostenido en el tiempo.

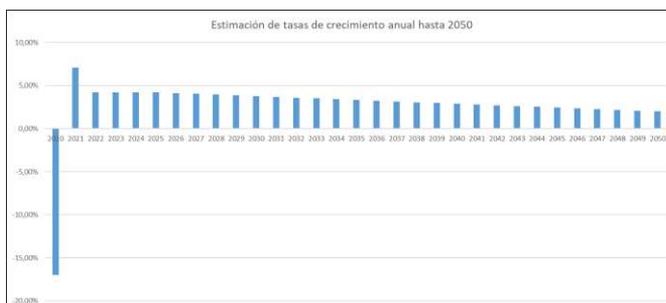
Además, a fecha de redacción de este TFM, en la primera semana de julio del año 2020, la **Comisión Europea** anunciaba su modificación de la previsión de crecimiento económico en la eurozona, dada la situación de crisis sanitaria, en la que estima que el Producto Interior Bruto (PIB) caerá un 8,7% durante 2020. Para 2021, el Ejecutivo comunitario sigue confiando en una recuperación de la economía y estimó que el PIB aumentará un 6,1% en el área de la moneda compartida y un 5,8 % en toda la UE.

Entre las grandes economías de la eurozona, Italia sufrirá la mayor caída del PIB este año (un 11,2 % menos), seguida de **España** (10,9 %), Francia (10,6 %), Holanda (6,8 %) y Alemania (6,3 %). Durante 2021, el mayor crecimiento del producto interior bruto entre esos países tendrá lugar en Francia (un 7,6 % más), seguida de **España** (7,1 %), Italia (6,1 %), Alemania (5,3 %) y Holanda (4,6 %) (Heraldo, 2020).

– **Hipótesis final de crecimiento:**

Con todo esto, y tras analizar el marco de crecimiento económico se han aplicado las siguientes hipótesis o estimaciones de crecimiento:

- Decrecimiento en el flujo de mercancías del 17% en el año 2020 debido a la situación de crisis sanitaria y a las previsiones establecidas en los estudios referenciados.
- Crecimiento en un 7,10% siguiendo la previsión anunciada por la Comisión Europea para España en el año 2021.
- Crecimiento con una tasa del 4,22% anual durante los siguientes 4 años de acuerdo con las estimaciones realizadas en función de la evolución pasada del PIB y del tráfico de mercancías por el paso fronterizo.
- Crecimiento con una tasa de crecimiento anual menor año a año hasta obtener una tasa del 2% para el año 2050, siguiendo con el principio de desglobalización y las previsiones de la OCDE.



**Ilustración 124: Estimación de tasas de crecimiento (Fuente: Elaboración propia)**

#### 4.4.2.5. Análisis de la demanda global apta para AF

Para el cálculo del mercado apto en el desarrollo de la AF de estudio, se ha escogido la serie de datos correspondientes al conjunto de demanda actual (año 2019) de las fuentes de datos anteriormente descritas.

Como primer paso de desarrollo y estudio de demanda, se genera una matriz origen-destino que caracteriza todo el tráfico de mercancías, medido en operaciones de transporte y en toneladas (miles), que abarcan las regiones analizadas.

2019	Operaciones	Toneladas	Operaciones	Toneladas																
ORIGEN	DESTINO		España		Francia		Portugal		Italia		Alemania		Reino Unido		Países Bajos		Bélgica		Hacia resto de UE	
España	529.658	6.102	566.507	8.129	206.339	2.480	62.102	944	128.943	1.623	48.944	747	42.883	683	25.524	355	71.046	905		
Francia	187.209	1.861																		
Portugal	62.015	938																		
Italia	113.070	1.429																		
Alemania	19.737	228																		
Reino Unido	43.773	673																		
Países Bajos	36.641	574																		
Bélgica	43.647	181																		
Resto de UE																				

2019	Vehículos pesados/año	Toneladas (miles)										
ORIGEN	Madrid		Aragón		Cataluña (Bar)		Valencia		Andalucía (Algeciras)			
Vehículos pesados/año												
Toneladas (miles)												
Vehículos pesados/año	71.784	773										
Toneladas (miles)												
Vehículos pesados/año			67.035	840								
Toneladas (miles)												
Vehículos pesados/año					325.944	3.704						
Toneladas (miles)			110.829	1.380			265.754	2.974				1.004
Vehículos pesados/año												
Toneladas (miles)			153.178	1.964	106.922	1.164	250.109	2.736			165.075	1.625
Vehículos pesados/año												
Toneladas (miles)			104.592	1.161	17.770	249	62.038	982	143.445	1.928		

**Ilustración 125: Matriz O-D del tráfico de mercancías (Fuente: Elaboración propia)**

En los sucesivos pasos, para el cálculo de esta demanda potencial, se han aplicado una serie de criterios de filtros para caracterizar el tipo de vehículo, carga y mercancía con posibilidad de trasvase modal.

Se han eliminado los camiones estándar y se ha realizado una selección según el tamaño de los vehículos, siguiendo el porcentaje existente de vehículos que puedan tener acceso a las Autopistas Ferroviarias previstas en la Península. Solo se han escogido aquellos que cumplen con los estándares y garantías de aprovechamiento para la AF, como son los conjuntos de cabeza tractora con semirremolque.

2019	Vehículos pesados/año	Toneladas																		
ORIGEN	DESTINO		España		Francia		Portugal		Italia		Alemania		Reino Unido		Países Bajos		Bélgica		Hacia resto de UE	
España	506	111	95																	305
Francia	188																			
Portugal	6																			
Italia	3																			
Alemania	3																			
Reino Unido	3																			
Países Bajos																				
Bélgica																				
Resto de UE	45																			

	2019	Vehículos pesados/año	Toneladas (miles)								
DESTINO		Madrid		Aragón		Cataluña (Bar)		Valencia		Andalucía (Algeciras)	
ORIGEN		Madrid		Aragón		Cataluña (Bar)		Valencia		Andalucía (Algeciras)	
Vehículos pesados/año	Madrid			44.102		12.240		53.425		22.849	
Toneladas (miles)	Madrid										
Vehículos pesados/año	Aragón	26.913				311.911		68.012		1.115	
Toneladas (miles)	Aragón										
Vehículos pesados/año	Cataluña (Bar)	6.618		269.675				170.637		7.041	
Toneladas (miles)	Cataluña (Bar)										
Vehículos pesados/año	Valencia	19.950		98.635		145.471				61.092	
Toneladas (miles)	Valencia										
Vehículos pesados/año	Andalucía (Algeciras)	41.264		3.851		7.209		55.779			
Toneladas (miles)	Andalucía (Algeciras)										

**Ilustración 126: Número de operaciones en vacío (Fuente: Elaboración propia)**

En definitiva, la matriz O-D restando los vehículos vacíos:

2019	Vehículos pesados/año	Toneladas	Vehículos pesados/año	Toneladas (miles)															
DESTINO		España		Francia		Portugal		Italia		Alemania		Reino Unido		Países Bajos		Bélgica		Hacia resto de UE	
ORIGEN	DESTINO	España		Francia		Portugal		Italia		Alemania		Reino Unido		Países Bajos		Bélgica		Hacia resto de UE	
ESPAÑA	ESPAÑA	529.152	6.102																
FRANCIA	FRANCIA	187.021	1.861	566.396	8.129	206.348	2.480	62.102	944	128.942	1.623	48.948	747	42.881	683	25.524	355	70.655	905
PORTUGAL	PORTUGAL	65.009	938																
ITALIA	ITALIA	113.067	1.429																
ALEMANIA	ALEMANIA	19.794	228																
REINO UNIDO	REINO UNIDO	43.771	672																
PAISES BAJOS	PAISES BAJOS	36.641	574																
BÉLGICA	BÉLGICA	43.602	381																
RESTO DE UE	RESTO DE UE																		

	2019	Vehículos pesados/año	Toneladas (miles)										
DESTINO		Madrid		Aragón		Cataluña (Bar)		Valencia		Andalucía (Algeciras)			
ORIGEN		Madrid		Aragón		Cataluña (Bar)		Valencia		Andalucía (Algeciras)			
Vehículos pesados/año	Madrid			27.682		16.493		76.793	980	77.239	1.347	111.160	1.521
Toneladas (miles)	Madrid												
Vehículos pesados/año	Aragón	40.122	840					14.717	3.122	51.576	1.872	21.243	283
Toneladas (miles)	Aragón												
Vehículos pesados/año	Cataluña (Bar)	104.211	1.380	56.269		3.704				95.117	2.974	78.646	1.004
Toneladas (miles)	Cataluña (Bar)												
Vehículos pesados/año	Valencia	133.228	1.964	8.287		1.164		104.638	2.736			103.983	1.625
Toneladas (miles)	Valencia												
Vehículos pesados/año	Andalucía (Algeciras)	63.328	1.161	13.919		249		54.829	982	87.666	16.493		
Toneladas (miles)	Andalucía (Algeciras)												

**Ilustración 127: Operaciones útiles (Fuente: Elaboración propia)**

A continuación, se aplica un filtro por tipo de mercancía ya que algunas cargas no son aptas para la Autopista Ferroviaria derivado del riesgo que puede desencadenar este tipo de mercancías. Las mercancías que no se tienen en cuenta de cada capítulo de nomenclatura NST/R son:

- NST/R0 (animales vivos).
- NST/R3: productos petrolíferos y derivados.
- NST/R8: el 30% de los productos químicos (grupos NST/R 81,82,89) clasificados como peligrosos (placas “naranjas”).
- NST/R9: vehículos (grupo NST/R 91).

**TRANSPORTE TOTAL**

**Tabla 7.1 Operaciones de transporte según tipo de desplazamiento por clases de mercancía transportada**

Clase de mercancía (1)	Tipo de desplazamiento							
	Total	Transporte interior			Transporte internacional			
		Total	Intra-municipal	Intra-regional	Inter-regional	Total (2)	Recibido	Expedido
<b>TOTAL</b>	<b>214.619.899</b>	<b>206.413.140</b>	<b>42.947.644</b>	<b>129.638.037</b>	<b>33.827.458</b>	<b>8.206.760</b>	<b>2.807.435</b>	<b>3.114.299</b>
Grupo 0	12.867.019	11.693.313	1.682.123	6.971.260	3.039.930	1.173.706	292.432	792.447
Grupo 1	21.231.813	20.306.303	1.909.535	12.685.058	5.711.710	925.510	298.723	460.207
Grupo 2	377.631	375.129	185.044	150.328	39.757	2.502	-	2.502
Grupo 3	4.535.397	4.496.047	603.806	3.363.499	529.742	38.551	20.488	16.063
Grupo 4	2.923.054	1.913.835	359.076	1.198.581	356.179	89.219	73.940	12.749
Grupo 5	3.417.355	3.165.792	550.450	1.630.050	985.292	251.563	81.968	154.827
Grupo 6	32.351.446	32.011.330	10.678.628	18.954.972	2.377.730	340.117	65.436	240.168
Grupo 7	1.659.106	1.615.471	417.310	847.318	350.844	43.635	12.846	28.224
Grupo 8	4.204.629	3.825.157	492.337	2.172.476	1.160.345	379.472	188.392	137.944
Grupo 9	39.101.349	36.642.967	6.281.438	20.788.386	9.573.144	2.458.382	1.024.470	1.053.449
Operaciones en vacío	92.871.099	90.366.995	19.788.099	60.876.109	9.702.787	2.504.104	748.741	213.720
<b>Porcentajes horizontales</b>								
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>96</b>	<b>20</b>	<b>60</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Grupo 0	100	91	13	54	24	9	2	6
Grupo 1	100	96	9	60	27	4	1	2
Grupo 2	100	99	49	40	11	1	.	1
Grupo 3	100	99	13	74	12	1	0	0
Grupo 4	100	96	18	60	18	4	4	1
Grupo 5	100	93	16	48	29	7	2	5
Grupo 6	100	99	33	59	7	1	0	1
Grupo 7	100	97	25	51	21	3	1	2
Grupo 8	100	91	12	52	28	9	4	3
Grupo 9	100	94	16	53	24	6	3	3
Operaciones en vacío	100	97	21	66	10	3	1	0
<b>Porcentajes verticales (3)</b>								
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Grupo 0	11	10	7	10	13	21	14	27
Grupo 1	17	17	8	18	24	16	15	16
Grupo 2	0	0	1	0	0	0,0	.	0
Grupo 3	4	4	3	5	2	1	1	1
Grupo 4	2	2	2	2	1	2	4	0
Grupo 5	3	3	2	2	4	4	4	5
Grupo 6	27	28	46	28	10	6	3	8
Grupo 7	1	1	2	1	1	1	1	1
Grupo 8	3	3	2	3	5	7	9	5
Grupo 9	32	32	27	30	40	43	50	36
Operaciones en vacío	43	44	46	47	29	31	27	7

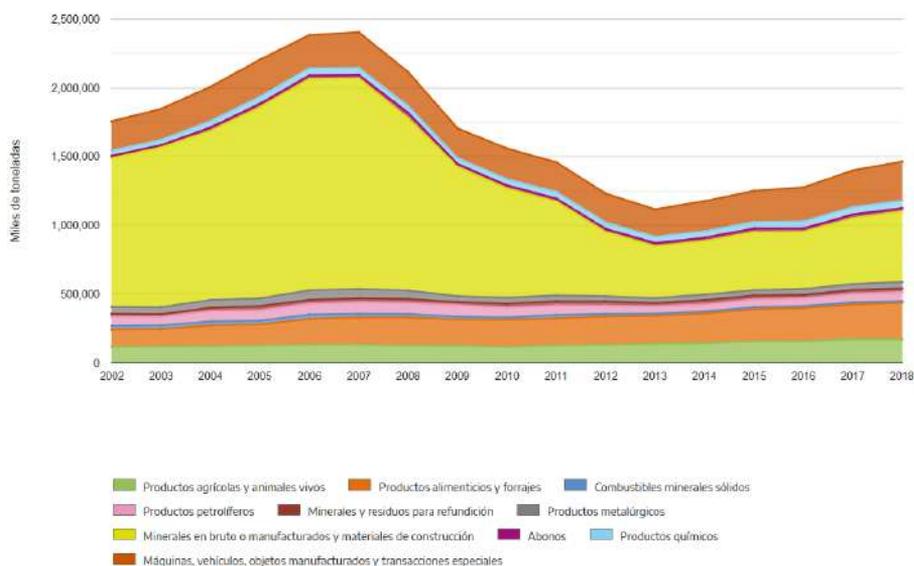
Fuente: Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera, 2019

D. G. de Programación Económica y Presupuestos. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

(1) La clasificación utilizada figura en el anexo I. Los grupos a un dígito son los siguientes:

Grupo 0: Productos agrícolas y animales vivos	Grupo 5: Productos metalúrgicos
Grupo 1: Productos alimenticios y forrajes	Grupo 6: Minerales en bruto o manufacturados y materiales de construcción
Grupo 2: Combustibles minerales sólidos	Grupo 7: Abonos
Grupo 3: Productos petrolíferos	Grupo 8: Productos químicos
Grupo 4: Minerales y residuos para refundición	Grupo 9: Máquinas, vehículos y objetos manufacturados

**Ilustración 128: Operaciones de transporte según tipo de desplazamiento por clases (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019)**



**Ilustración 129: Evolución del transporte de mercancías por carretera, por tipo de mercancía**  
(Fuente: Ministerio de Fomento, 2019)

Según la anterior clasificación, la reducción o filtro a aplicar se puede resumir en la siguiente tabla:

Grupo	Nacional (%)	Internacional (%)
Grupo 0	5,49	11,02
Grupo 1	18,44	18,82
Grupo 2	0,65	0,07
Grupo 3	-	-
Grupo 4	2,06	2,39
Grupo 5	2,94	5,50
Grupo 6	35,97	8,33
Grupo 7	1,98	1,04
Grupo 8	2,34	5,70
Grupo 9		
Total:	69,87	52,87

**Ilustración 130: Filtro aplicado, por tipo de mercancía (Fuente: Elaboración propia)**

Obteniendo por tanto la siguiente matriz tras realizar este filtro de mercancías:

2019	Vehículos pesados/año	Toneladas	Vehículos pesados/año	Toneladas (miles)													
<b>ORIGEN</b>	<b>DESTINO</b>																
	España		Francia		Portugal		Italia		Alemania		Reino Unido		Países Bajos		Belgica		
ESPAÑA			209.617	3.008	76.330	918	22.983	349	47.720	601	18.114	277	15.870	253	9.446	131	26.149
Francia	195.834	2.258															
Portugal	69.215	689															
Italia	24.059	347															
Alemania	41.845	529															
Reino Unido	7.393	84															
Países Bajos	16.199	246															
Belgica	13.560	213															
Resto de UE	16.137	141															335

2019	Vehículos pesados/año	Toneladas (miles)								
<b>ORIGEN</b>	<b>DESTINO</b>									
	Madrid		Aragón		Cataluña (Bar)		Valencia		Andalucía (Algeciras)	
Vehículos pesados/año			13.539	8.067	37.559	479	37.777	659	54.367	744
Toneladas (miles)										
Vehículos pesados/año	19.623	411			7.198	1.527	25.225	915	10.390	138
Toneladas (miles)										
Vehículos pesados/año	50.969	675	27.521	1.811			46.521	1.455	38.465	491
Toneladas (miles)										
Vehículos pesados/año	65.160	961	4.053	569	51.177	1.338			50.857	795
Toneladas (miles)										
Vehículos pesados/año	30.973	568	6.808	122	26.816	480	42.877	8.067		
Toneladas (miles)										

**Ilustración 131: Operaciones útiles tras filtro de mercancías (Fuente: Elaboración propia)**

El último criterio corresponde al tamaño de los camiones, según el porcentaje existente de vehículos que puedan tener acceso a las Autopistas Ferroviarias previstas en la Península.

No obstante, y a partir del estudio de la Oficina Federal de Transportes de Suiza sobre las tendencias e innovaciones en tráfico combinado, que pone de relieve el incremento de demanda de Megatrailers (no aptos para Autopista Ferroviaria), se ha considerado que únicamente el **70% de los semirremolques son aptos** para Autopista Ferroviaria en el año horizonte 2050.

2019	Vehículos pesados/año	Toneladas	Vehículos pesados/año	Toneladas (miles)													
<b>ORIGEN</b>	<b>DESTINO</b>																
	España		Francia		Portugal		Italia		Alemania		Reino Unido		Países Bajos		Belgica		
ESPAÑA			574	8	209	3	63	1	131	2	50	1	43	1	26	0	72
Francia	537	6															
Portugal	190	2															
Italia	66	1															
Alemania	115	1															
Reino Unido	20	0															
Países Bajos	44	1															
Belgica	37	1															
Resto de UE	44	0															

	2019	Vehículos pesados/año	Toneladas (miles)								
DESTINO											
ORIGEN		Madrid	Aragón	Cataluña (Bar)	Valencia	Andalucía (Algeciras)					
Vehículos pesados/año	Madrid		37	22	103	1	103	2	149	2	
Toneladas (miles)	Madrid										
Vehículos pesados/año	Aragón	54	1		20	4	69	3	28	0	
Toneladas (miles)	Aragón										
Vehículos pesados/año	Cataluña (Bar)	140	2	75	5		127	4	105	1	
Toneladas (miles)	Cataluña (Bar)										
Vehículos pesados/año	Valencia	179	3	11	2	140	4		139	2	
Toneladas (miles)	Valencia										
Vehículos pesados/año	Andalucía (Algeciras)	85	2	19	0	73	1	117	22		
Toneladas (miles)	Andalucía (Algeciras)										

**Ilustración 132: Operaciones con filtros aplicados (Fuente: Elaboración propia)**

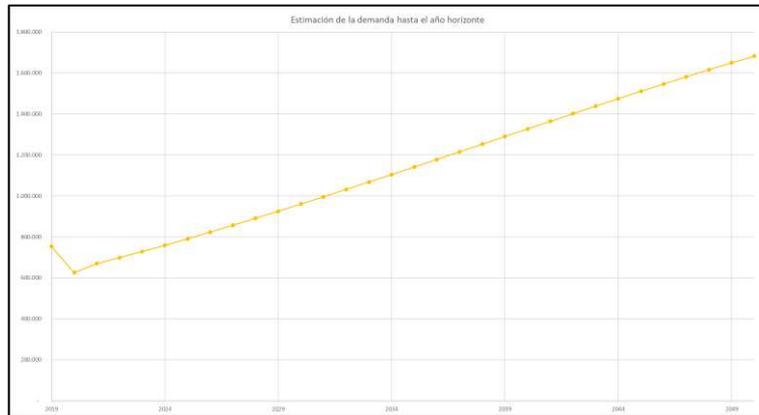
Finalmente, se obtiene que la demanda global apta para el uso de las Autopistas Ferroviarias, en función del Origen-Destino serían las siguientes:

ZONA ORIGEN / DESTINO		Nº VEHÍCULOS PESADOS / DÍA (ambos sentidos)	DISTANCIA (km)
Madrid	Zaragoza	91	329
Zaragoza	Barcelona	95	294
Madrid	Barcelona	243	619
España	Francia (Lyon)	1.111	634
España	Alemania	245	1.305
España	Italia	129	1.346
España	Holanda	89	1.502
España	Bélgica	63	1.345

**Ilustración 133: Demanda global apta para AF (Fuente: Elaboración propia)**

– **Demanda global apta hasta año horizonte:**

Teniendo en cuenta las estimaciones a futuro planteadas con anterioridad, se obtiene el siguiente gráfico que representa la demanda global apta para el uso de la AF, desde 2019 (datos de partida) hasta el año 2050 (año horizonte y objetivo de la Comisión Europea):



**Ilustración 134: Previsión de la evolución de la demanda hasta año horizonte (Fuente: Elaboración propia)**

#### 4.4.2.6. Modelo de elección modal para captación de tráfico

Se presenta a continuación los algoritmos estadísticos para explicar las preferencias en la elección modal de los transportistas entre carretera y Autopista Ferroviaria. Este análisis y cálculo está basado en las funciones de utilidad estimadas por el estudio técnico en el que se basa este trabajo (Ministerio de Fomento, 2015).

Estos modelos se basan en la maximización de la utilidad, de tal manera que, a mayor utilidad mayor probabilidad habrá de que los sujetos elijan ese modo. Con ello se obtiene el porcentaje de tráfico u operadores que decidirá elegir el modo de Autopista Ferroviaria en lugar de carretera.

La función de utilidad “ $U_{ji}$ ” de la alternativa “ $i$ ” suele expresarse como una función lineal en la que interviene diferentes atributos (coste, tiempo, frecuencia, tiempo de acarreo...)

$$U_{ji} = a_0 + a_1 * X_{j1} + \dots + X_{jn} + \varepsilon_i$$

Bajo ciertas condiciones y si todas las alternativas son independientes (como es el caso del Logit multinomial), la probabilidad  $P_j(i)$  de elegir la alternativa “ $i$ ” para el sujeto “ $j$ ”, para “ $N$ ” alternativas resulta:

$$P_j(i) = \frac{\exp(U_{ji})}{\sum_{k=1, N} \exp(U_{ji})}$$

En el estudio de referencia, se han estimado las utilidades a partir de Encuestas de Preferencias Declaradas, es decir, a partir de preguntar a una muestra representativa de los usuarios actuales a fecha de estudio de cada modo, por situaciones hipotéticas.

A partir de esta función calibrada, y mediante la aplicación de la formulación anterior, es posible calcular el porcentaje de captación de la demanda captable por parte del modo “i”. La formulación que han estimado es la siguiente:

**Utilidad Carretera:**

$$U = K_{route} + C_{cout} * R_{ptot} + C_{dist} * R_{dist}$$

Donde las variables explicativas son:

- El peaje de la carretera (R\_PTOT)
- La distancia total del trayecto por carretera (R\_DIST)

**Utilidad AF:**

$$U = C_{cout} * AF_{PRIX} + C_{temps_A} * GT_{AFR} + C_{secu_A} * AF_{secu} + C_{dist} * AF_{dist}$$

Donde las variables explicativas son:

- El precio de la Autopista Ferroviaria (AF\_PRX)
- La distancia de acarreo en origen y destino por carretera (AF\_DIST)
- La ganancia de tiempo que permite la Autopista Ferroviaria (GT\_AF\_R)
- El indicador relativo a la seguridad de las cargas (AF\_SECU)

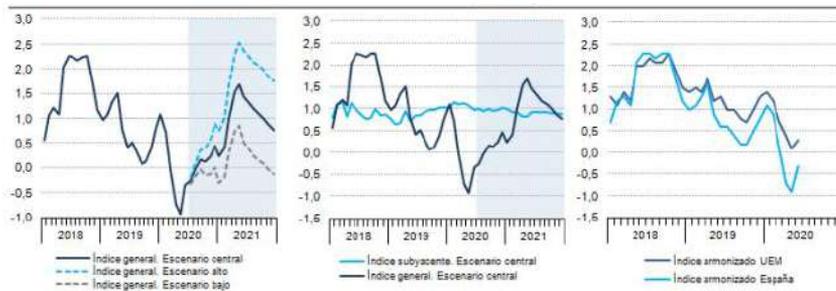
Para este modelo y según las preferencias declaradas (PD) en los “Estudios Relativos al Desarrollo de Servicios de Autopistas Ferroviarias en la Península Ibérica en el horizonte 2020” (GEIE Sud-Europe Atlantique Vitoria-Dax, 2009-2012), los coeficientes a aplicar son:

	Valor
<b>Ccout</b>	-0.00286
<b>Cdist</b>	-0.00242
<b>Csecu_A</b>	4.3
<b>Ctemps_A</b>	0.0491
<b>Kroute</b>	6.17

**Ilustración 135: Coeficientes obtenidos de las PD (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015)**

Por tanto, en resumen, las variables a considerar para poder aplicar el modelo son las siguientes:

1. **Distancias en modo carretera:** ya mencionadas en apartados anteriores.
2. **Tiempos en modo carretera:** se ha tenido en cuenta adicionar lo tiempos de descanso para conductores de vehículos de transporte de mercancías por carretera. A este efecto, se considera un descanso de 45 minutos cada 4,5 horas de conducción y de 11 horas cada 9 horas de conducción, tal y como indica la legislación.
3. **Peajes carretera:** este dato se actualiza de los obtenidos de 2018 en el “Estudio para el desarrollo de Autopistas” con respecto a las estimaciones de crecimiento del IPC y se extrapolan a futuro siguiendo la previsión por “Funcas” (Funcas, 2020).



**Ilustración 136: Variación interanual del IPC (previsiones) (Fuente: Funcas, 2020)**

Como apunte general, es relevante comentar el índice de precio medio por kilómetro de la carretera que se indica, adoptando un precio a 2020 de 0,248 €/km. Además de establecer la hipótesis de que es necesario el pago por uso a lo largo de toda la autovía Madrid-Barcelona (tal y como apunta el actual Gobierno en un corto plazo), se hace la hipótesis de que para el año 2030 se penalizará el coste del peaje para el transporte de mercancías a larga distancia (similar a lo propuesto por el Gobierno de Navarra para reducir la siniestralidad y reducir la alta IMD en la carretera N-121).

**Índice del precio medio por kilómetro  
(ESPAÑA)**

Período	Más de 300 km.
2013	146,0
2014	147,7
2015	146,8
2016	145,2
2017	144,6
2018	146,5
2019	148,1

**Ilustración 137: Índice del precio medio por kilómetro en España (Fuente: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019)**

**4. Tarifas de servicios AF:** para modelizar esta metodología es imprescindible establecer las tarifas de uso. Para analizar los diferentes comportamientos del modelo de utilidad y poder analizar así la rentabilidad del servicio, se ha utilizado un rango amplio de tarifas, determinando así cual es la tarifa que genera más ingresos, cuál es la tarifa que genera más demanda final y cuál más rentabilidad. De esta forma, se ha utilizado las tarifas desde 0,1 a 1 €/km, cada 0,05 €/km.

Al igual que en el modo carretera, para establecer la evolución de tarifas a lo largo del tiempo debido a la inflación, se ha utilizado la previsión de FUNCAS de tasa de crecimiento anual de 1,2%. Se considera esta hipótesis la más razonable de cara a estudiar la evolución a largo plazo. De este modo, las tarifas quedan descritas de la siguiente manera:

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0.1	0.101	0.102	0.104	0.105	0.106	0.107	0.109	0.110	0.111	0.113
0.15	0.152	0.154	0.155	0.157	0.159	0.161	0.163	0.165	0.167	0.169
0.2	0.202	0.205	0.207	0.210	0.212	0.215	0.217	0.220	0.223	0.225
0.25	0.253	0.256	0.259	0.262	0.265	0.269	0.272	0.275	0.278	0.282
0.3	0.304	0.307	0.311	0.315	0.318	0.322	0.326	0.330	0.334	0.338
0.35	0.354	0.358	0.363	0.367	0.372	0.376	0.380	0.385	0.390	0.394
0.4	0.405	0.410	0.415	0.420	0.425	0.430	0.435	0.440	0.445	0.451
0.45	0.455	0.461	0.466	0.472	0.478	0.483	0.489	0.495	0.501	0.507
0.5	0.506	0.512	0.518	0.524	0.531	0.537	0.544	0.550	0.557	0.563
0.55	0.557	0.563	0.570	0.577	0.584	0.591	0.598	0.605	0.612	0.620
0.6	0.607	0.614	0.622	0.629	0.637	0.645	0.652	0.660	0.668	0.676
0.65	0.658	0.666	0.674	0.682	0.690	0.698	0.707	0.715	0.724	0.732
0.7	0.708	0.717	0.726	0.734	0.743	0.752	0.761	0.770	0.779	0.789
0.75	0.759	0.768	0.777	0.787	0.796	0.806	0.815	0.825	0.835	0.845
0.8	0.810	0.819	0.829	0.839	0.849	0.859	0.870	0.880	0.891	0.901
0.85	0.860	0.871	0.881	0.892	0.902	0.913	0.924	0.935	0.946	0.958
0.9	0.911	0.922	0.933	0.944	0.955	0.967	0.978	0.990	1.002	1.014
0.95	0.961	0.973	0.985	0.996	1.008	1.020	1.033	1.045	1.058	1.070
1	1.012	1.024	1.036	1.049	1.061	1.074	1.087	1.100	1.113	1.127
0.248	0.251	0.254	0.257	0.260	0.263	0.266	0.270	0.273	0.276	0.279
0.4	0.405	0.410	0.415	0.420	0.425	0.430	0.435	0.440	0.445	0.451

2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
0.114	0.115	0.117	0.118	0.120	0.121	0.122	0.124	0.125	0.127
0.171	0.173	0.175	0.177	0.179	0.182	0.184	0.186	0.188	0.190
0.228	0.231	0.234	0.236	0.239	0.242	0.245	0.248	0.251	0.254
0.285	0.288	0.292	0.295	0.299	0.303	0.306	0.310	0.314	0.317
0.342	0.346	0.350	0.355	0.359	0.363	0.367	0.372	0.376	0.381
0.399	0.404	0.409	0.414	0.419	0.424	0.429	0.434	0.439	0.444
0.456	0.462	0.467	0.473	0.478	0.484	0.490	0.496	0.502	0.508
0.513	0.519	0.525	0.532	0.538	0.545	0.551	0.558	0.564	0.571
0.570	0.577	0.584	0.591	0.598	0.605	0.612	0.620	0.627	0.635
0.627	0.635	0.642	0.650	0.658	0.666	0.674	0.682	0.690	0.698
0.684	0.692	0.701	0.709	0.718	0.726	0.735	0.744	0.753	0.762
0.741	0.750	0.759	0.768	0.777	0.787	0.796	0.806	0.815	0.825
0.798	0.808	0.817	0.827	0.837	0.847	0.857	0.868	0.878	0.889
0.855	0.865	0.876	0.886	0.897	0.908	0.919	0.930	0.941	0.952
0.912	0.923	0.934	0.945	0.957	0.968	0.980	0.992	1.004	1.016
0.969	0.981	0.993	1.004	1.017	1.029	1.041	1.054	1.066	1.079
1.026	1.039	1.051	1.064	1.076	1.089	1.102	1.116	1.129	1.142
1.083	1.096	1.109	1.123	1.136	1.150	1.164	1.178	1.192	1.206
1.140	1.154	1.168	1.182	1.196	1.210	1.225	1.240	1.254	1.269
0.283	0.286	0.290	0.293	0.297	0.300	0.304	0.307	0.311	0.315
0.456	0.462	0.467	0.473	0.478	0.484	0.490	0.496	0.502	0.508

2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
0.128	0.130	0.132	0.133	0.135	0.136	0.138	0.140	0.141	0.143
0.183	0.185	0.187	0.200	0.202	0.205	0.207	0.209	0.212	0.215
0.257	0.260	0.263	0.266	0.269	0.273	0.276	0.279	0.283	0.286
0.321	0.325	0.329	0.333	0.337	0.341	0.345	0.349	0.353	0.358
0.385	0.390	0.395	0.399	0.404	0.409	0.414	0.419	0.424	0.429
0.450	0.455	0.460	0.466	0.472	0.477	0.483	0.489	0.495	0.501
0.514	0.520	0.526	0.533	0.539	0.545	0.552	0.559	0.567	0.572
0.578	0.585	0.592	0.599	0.606	0.614	0.621	0.628	0.636	0.644
0.642	0.650	0.658	0.666	0.674	0.682	0.690	0.698	0.707	0.715
0.707	0.715	0.724	0.732	0.741	0.750	0.759	0.768	0.777	0.787
0.771	0.780	0.789	0.799	0.808	0.818	0.828	0.838	0.848	0.858
0.835	0.845	0.855	0.865	0.876	0.886	0.897	0.908	0.919	0.930
0.899	0.910	0.921	0.932	0.943	0.955	0.966	0.978	0.989	1.001
0.964	0.975	0.987	0.999	1.011	1.023	1.035	1.047	1.060	1.073
1.028	1.040	1.053	1.065	1.078	1.091	1.104	1.117	1.131	1.144
1.092	1.105	1.118	1.132	1.145	1.159	1.173	1.187	1.201	1.216
1.156	1.170	1.184	1.198	1.213	1.227	1.242	1.257	1.272	1.287
1.220	1.235	1.250	1.265	1.280	1.295	1.311	1.327	1.343	1.359
1.285	1.300	1.316	1.331	1.347	1.364	1.380	1.397	1.413	1.430
0.319	0.322	0.326	0.330	0.334	0.338	0.342	0.346	0.350	0.355
0.514	0.520	0.526	0.533	0.539	0.545	0.552	0.559	0.565	0.572

**Ilustración 138: Evolución de las tarifas a la inflación (Fuente: Elaboración propia)**

5. **Velocidad de servicios AF:** Se establece una velocidad media de operación 60 km/h. Esta velocidad se ha determinado como referencia al Observatorio de Transporte y la Logística en España de 2019. Se realiza la hipótesis de que para el año 2030, las mejoras tecnológicas en material rodante y las mejoras en infraestructura permitirá circular a una velocidad media de 80km/h y a 100 km/h en 2050.
6. **Tiempo de carga y descarga AF:** Las operaciones de carga y descarga para las distintas tipologías analizadas consumen un tiempo similar. Bajo unas condiciones de longitud de tren de 750 m y una productividad del 85%, el tiempo estimado de carga o descarga es de 2 horas.
7. **Factor de seguridad relativo a las cargas:** La formulación de elección modal presentada anteriormente incluye como variable explicativa un factor de seguridad relativo a las cargas. Este factor representa el porcentaje de incidentes (robos, rotura) sufridas en servicios de Autopistas Ferroviarias.

Se considera una tasa de incidentes del 15% en los servicios de Autopistas ferroviarias analizados; este valor se obtiene a partir de la experiencia habida en la línea Perpignan – Bettembourg. Se realiza la hipótesis de que, con el fin de potenciar y dar seguridad en el servicio, para el año 2030 la tasa de incidentes se reduce al 5% y al 1% en 2050.

Como se ha dicho, es importante remarcar que, de acuerdo con el modelo de utilidad descrito, se ha preparado un modelo de elasticidad de la demanda en función de la tarifa, buscando esa tarifa que está alineada con el objetivo europeo de obtención de un trasvase modal significativo y que, a la vez, sea rentable económicamente.

Aun así, aunque se ha utilizado el modelo de utilidad obtenido en base a las Preferencias Declaradas descritas en el “Estudio para el desarrollo de autopistas ferroviarias en la Península Ibérica” es importante remarcar que es un modelo que tiene ciertas constantes muy altas en comparación con otros coeficientes, lo que significa que la elección modal se mueve por otras variables que no están consideradas en el modelo y que serían conveniente conocer. Además, es un modelo cuya formulación se mantiene invariable, lo cual no sería cierto dado que las “Preferencias Declaradas” se convertirían en “Reveladas” a partir de experimentar la realidad del servicio

Si bien, no hay datos suficientes disponibles como para realizar otro modelo, una futura línea de trabajo sería plantear un modelo estimado propio a partir de otra fuente de datos, buscando información y calibrando dicho modelo.

Por lo tanto, y a partir de todos estos datos, se han realizado de la siguiente manera los cálculos oportunos para obtener el volumen de demanda captada por la Autopista Ferroviaria bajo estos criterios.

A continuación, se presentan unos cálculos resumidos para el **ejemplo de la tarifa 0,75 €/km** en función de los 4 años de referencia (2020, 2030, 2040 y 2050) pero pueden observarse los cálculos completos del modelo (cálculos para el rango de tarifas) en los Anexos adjuntados al final de este TFM.

0.248		0.75		0.85		% CATEGORÍA FERROCARRIL		Probabilidad uso carretera		Demanda Año 2020		Volumen Demandado Capacidad (VP/día)	
R_DIST	R_PTOT	R_PTOT	R_PTOT	R_PTOT	GT_AF_R	AF_SCU	U (MF)	AF_DST	U (MF)	Probabilidad uso carretera	Demanda Año 2020	Volumen Demandado Capacidad (VP/día)	
km	€	€/km	€/km	€/km	€		€/km						
Madrid	329	0.248	81.529	30%	254275	0.85	1.979	339	4.286	95.94%	75	3	
Zaragoza	284	0.248	72.512	30%	249275	0.75	2.013	339	3.286	96.27%	79	3	
Barcelona	619	0.248	153.512	30%	519	0.85	2.013	659	2.013	97.59%	201	4	
Madrid	619	0.248	157.322	30%	489	0.75	2.053	659	2.57%	97.43%	922	24	
Barcelona	1335	0.248	325.64	30%	204.4016	0.85	2.053	1331	1.27%	98.43%	200	3	
Madrid	1335	0.248	337.856	30%	115.85	0.75	2.280	1546	1.14%	98.29%	167	2	
Zaragoza	1345	0.248	338.56	30%	1010.25	0.85	-1.676	1355	2.56%	97.44%	52	1	
Barcelona	1345	0.248	338.56	30%	433.628	0.85							
VEH/ANO (MF)													42
15.431													
0.845		0.95		0.95		% CATEGORÍA FERROCARRIL		Probabilidad uso carretera		Demanda Año 2020		Volumen Demandado Capacidad (VP/día)	
R_DIST	R_PTOT	R_PTOT	R_PTOT	R_PTOT	GT_AF_R	AF_SCU	U (MF)	AF_DST	U (MF)	Probabilidad uso carretera	Demanda Año 2020	Volumen Demandado Capacidad (VP/día)	
km	€	€/km	€/km	€/km	€		€/km						
Madrid	329	0.845	148.27638	30%	286.4013845	0.95	2.384	339	7.14%	92.86%	116	8	
Zaragoza	284	0.845	132.488531	30%	281.3932715	0.95	2.413	338	6.50%	93.50%	121	8	
Barcelona	619	0.845	278.9688842	30%	584.7830227	0.95	2.413	659	4.07%	95.93%	309	13	
Madrid	619	0.845	285.7290349	30%	559.9227994	1.00	1.459	659	8.83%	91.37%	1415	122	
Barcelona	1335	0.845	588.131085	30%	1126.68679	1.00	0.95	1331	-1.73%	95.48%	231	14	
Madrid	1335	0.845	602.9761467	30%	1306.598116	0.95	-2.263	1546	5.40%	94.60%	113	6	
Zaragoza	1345	0.845	606.1601765	30%	1146.000519	0.95	-1.340	1355	7.44%	92.56%	80	6	
Barcelona	1345	0.845	606.1601765	30%	788.6982395	0.95							
VEH/ANO (MF)													389
69.051													
0.952		1.073		1.073		% CATEGORÍA FERROCARRIL		Probabilidad uso carretera		Demanda Año 2020		Volumen Demandado Capacidad (VP/día)	
R_DIST	R_PTOT	R_PTOT	R_PTOT	R_PTOT	GT_AF_R	AF_SCU	U (MF)	AF_DST	U (MF)	Probabilidad uso carretera	Demanda Año 2020	Volumen Demandado Capacidad (VP/día)	
km	€	€/km	€/km	€/km	€		€/km						
Madrid	329	0.952	167.0576621	30%	327.738666	1.073	2.280	339	6.81%	93.19%	160	11	
Zaragoza	284	0.952	149.285481	30%	317.041232	1.073	2.311	338	6.18%	93.82%	167	10	
Barcelona	619	0.952	314.3119481	30%	658.8569441	1.073	0.952	659	3.66%	96.34%	427	16	
Madrid	619	0.952	313.935543	30%	620.734033	1.00	0.95	659	7.90%	92.10%	1356	15	
Barcelona	1335	0.952	678.6787825	30%	1314.2720	1.073	0.952	1331	-1.73%	97.74%	237	16	
Madrid	1335	0.952	692.4616227	30%	1527.88958	1.073	-2.237	1546	4.35%	95.65%	156	7	
Zaragoza	1345	0.952	705.2565617	30%	1471.900143	1.073	-1.754	1355	6.20%	93.80%	111	7	
Barcelona	1345	0.952	705.2565617	30%	887.842393	1.073							
VEH/ANO (MF)													85
25.905													
0.973		1.073		1.073		% CATEGORÍA FERROCARRIL		Probabilidad uso carretera		Demanda Año 2020		Volumen Demandado Capacidad (VP/día)	
R_DIST	R_PTOT	R_PTOT	R_PTOT	R_PTOT	GT_AF_R	AF_SCU	U (MF)	AF_DST	U (MF)	Probabilidad uso carretera	Demanda Año 2020	Volumen Demandado Capacidad (VP/día)	
km	€	€/km	€/km	€/km	€		€/km						
Madrid	329	0.973	188.2723816	30%	363.643925	1.073	2.376	339	9.13%	90.87%	203	19	
Zaragoza	284	0.973	168.138774	30%	332.7077494	1.073	2.404	338	8.10%	94.50%	212	17	
Barcelona	619	0.973	354.1326876	30%	742.3959933	1.073	0.511	659	5.09%	94.50%	541	30	
Madrid	619	0.973	352.742552	30%	693.9379255	1.073	1.285	659	11.89%	88.11%	2419	29	
Barcelona	1335	0.973	770.0526617	30%	1456.21062	1.073	-1.901	1331	-12.45%	87.55%	388	36	
Madrid	1335	0.973	859.3096642	30%	1658.89729	1.073	-2.914	1546	9.50%	90.50%	188	19	
Zaragoza	1345	0.973	769.4805572	30%	1453.080004	1.073	-1.885	1355	12.88%	87.42%	141	19	
Barcelona	1345	0.973	769.4805572	30%	1000.241724	1.073							
VEH/ANO (MF)													475
173.383													

**Ilustración 139: Ejemplo cálculo del modelo de utilidad (Fuente: Elaboración propia)**

Analizando las posibles variaciones en la tarifa y su repercusión en la captación de tráfico, puede verse en las siguientes tablas la gran variación en la captación que provoca pequeños cambios en la tarifa tanto en el año 2020 como en el año 2050, para uno de los O-D analizados:

Precio unitario €/km	Tráfico captable MAD-BCN	% Captación AF	Tráfico AF 2050	% variación tráfico
0,5	201	3,25%	7	61,93%
0,55	201	2,95%	6	47,13%
0,6	201	2,68%	5	33,64%
0,65	201	2,44%	5	21,35%
0,7	201	2,21%	4	10,17%
0,75	201	2,01%	4	0,00%
0,8	201	1,82%	4	-9,25%
0,85	201	1,65%	3	-17,66%
0,9	201	1,50%	3	-25,30%
0,95	201	1,36%	3	-32,24%
1	201	1,23%	2	-38,55%

Precio unitario €/km	Tráfico captable MAD-BCN	% Captación AF	Tráfico AF 2050	% variación tráfico
0,715	541	10,56%	57	92,06%
0,787	541	9,29%	50	69,07%
0,858	541	8,17%	44	48,58%
0,930	541	7,17%	39	30,37%
1,001	541	6,28%	34	14,25%
1,073	541	5,50%	30	0,00%
1,144	541	4,81%	26	-12,56%
1,216	541	4,20%	23	-23,62%
1,287	541	3,66%	20	-33,33%
1,359	541	3,20%	17	-41,85%
1,430	541	2,79%	15	-49,31%

**Ilustración 140: Cambios en la captación en función de la tarifa (Fuente: Elaboración propia)**

Aun así, se ha podido comprobar que, aunque pequeñas variaciones en la tarifa conllevan grandes variaciones relativas en la demanda captada, para obtener unos porcentajes de captación acorde a los objetivos perseguidos por Europa es necesario mejorar todos los atributos del modelo, mejorando y potenciando el ferrocarril como modo de transporte más eficiente y sostenible. En este caso, para llegar a conseguir un 50% de trasvase modal en el año horizonte (2050), para largas distancias como España-Bélgica, España-Holanda, España-Italia o España-Alemania, la tarifa debería ser de 0,4 €/km, siendo inviable conseguir un traspaso de tráfico en los términos que se buscan para distancias como Madrid-Barcelona, a no ser que influyan variables que no figuran en este modelo de utilidad, tales como acuerdos como el realizado entre la Autoridad Portuaria de Algeciras y Zaragoza Plaza, o subvenciones a las empresas para el uso de este modo de transporte.

A partir de los cálculos de realizados del modelo de utilidad, se han realizado dos tablas que representan la demanda (VP/año) en función de la tarifa y el año de estudio, y los ingresos en función de la demanda.

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
0.1	68.707	91.146	113.285	134.023	154.462	180.901	203.340	225.778	248.217	270.656	293.094	306.534	320.915	334.673	348.535	362.935
0.15	61.097	81.276	102.335	122.983	143.612	164.240	184.869	205.497	226.126	246.754	267.383	279.748	292.114	304.479	316.845	329.210
0.2	54.884	73.082	91.321	110.769	129.577	148.405	167.244	186.082	204.920	223.759	242.597	253.430	264.353	275.256	286.159	297.062
0.25	49.262	65.824	82.744	100.328	118.269	136.500	155.021	173.842	192.663	211.484	230.305	249.126	267.947	286.768	305.589	324.410
0.3	42.752	58.139	73.526	89.914	107.199	124.484	141.769	159.054	176.339	193.624	210.909	228.194	245.479	262.764	280.049	297.334
0.35	37.864	51.364	65.564	80.364	95.164	109.964	124.764	139.564	154.364	169.164	183.964	198.764	213.564	228.364	243.164	257.964
0.4	33.741	46.067	58.394	70.720	83.047	95.373	107.700	120.026	132.353	144.680	157.006	169.333	181.660	193.987	206.314	218.641
0.45	30.261	41.161	52.061	62.961	73.861	84.761	95.661	106.561	117.461	128.361	139.261	150.161	161.061	171.961	182.861	193.761
0.5	26.764	36.508	46.252	56.035	65.779	75.523	85.267	95.010	104.754	114.498	124.242	133.986	143.730	153.474	163.218	172.962
0.55	23.979	32.935	41.190	49.846	58.502	67.158	75.813	84.469	93.125	101.781	110.437	119.093	127.749	136.405	145.061	153.717
0.6	21.550	29.027	36.704	44.380	52.057	59.734	67.410	75.087	82.763	90.440	98.117	105.794	113.471	121.148	128.825	136.502
0.65	19.133	25.933	32.733	39.533	46.333	53.133	59.933	66.733	73.533	80.333	87.133	93.933	100.733	107.533	114.333	121.133
0.7	17.143	23.443	29.743	36.043	42.343	48.643	54.943	61.243	67.543	73.843	80.143	86.443	92.743	99.043	105.343	111.643
0.75	15.331	20.931	26.531	32.131	37.731	43.331	48.931	54.531	60.131	65.731	71.331	76.931	82.531	88.131	93.731	99.331
0.8	13.900	18.666	23.433	28.199	32.966	37.733	42.498	47.264	52.030	56.797	61.563	66.329	71.095	75.861	80.627	85.393
0.85	12.843	16.984	21.025	25.266	29.508	33.750	37.992	42.234	46.476	50.718	54.960	59.202	63.444	67.686	71.928	76.170
0.9	11.667	15.167	18.667	22.167	25.667	29.167	32.667	36.167	39.667	43.167	46.667	50.167	53.667	57.167	60.667	64.167
0.95	10.868	13.867	17.007	20.146	23.286	26.425	29.564	32.703	35.842	38.981	42.120	45.259	48.398	51.537	54.676	57.815
1	9.313	12.822	16.331	19.840	23.349	26.857	30.366	33.875	37.384	40.893	44.402	47.911	51.419	54.928	58.437	61.945

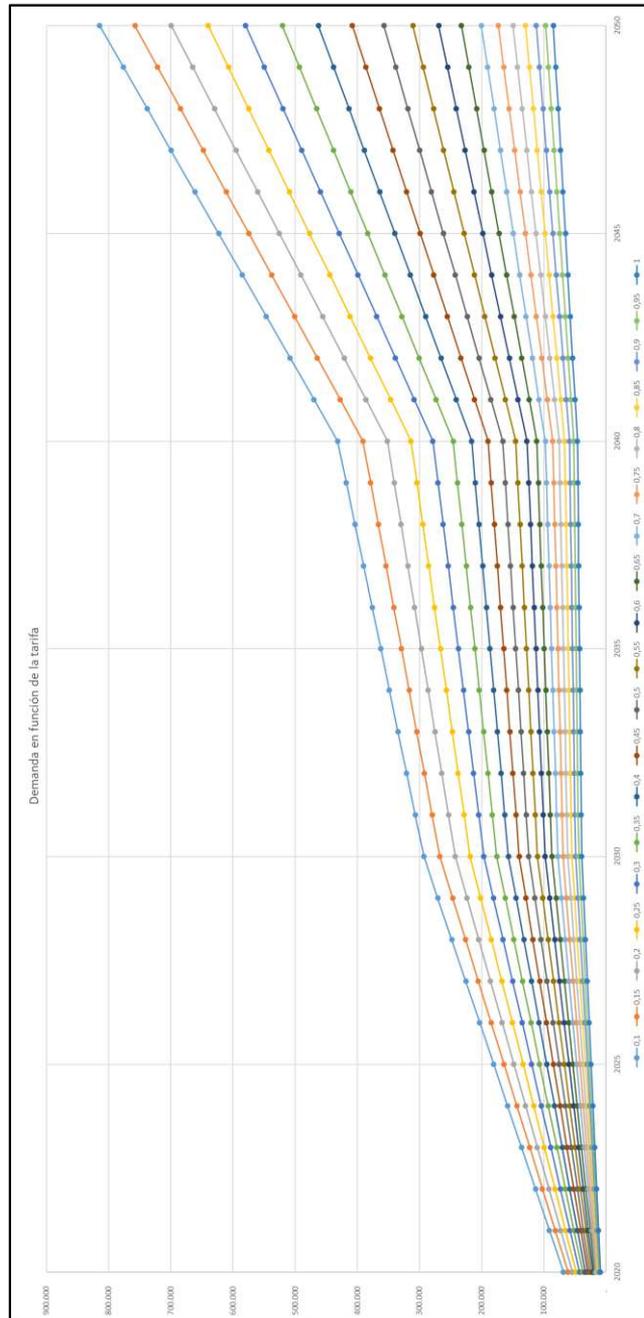
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035						
0.1	376.235	390.115	409.975	417.835	431.696	449.983	469.829	494.843	524.556	558.443	603.130	661.417	699.704	737.991	776.278	814.565
0.15	327.876	338.861	352.877	364.872	381.865	401.858	424.851	450.844	480.837	514.830	552.823	594.816	640.809	690.802	740.795	790.788
0.2	307.569	295.407	298.911	306.674	315.937	326.700	338.963	352.726	368.989	386.752	406.015	426.778	449.041	472.804	498.067	524.830
0.25	275.950	254.001	262.198	270.395	278.592	286.789	294.986	303.183	311.380	319.577	327.774	335.971	344.168	352.365	360.562	368.759
0.3	245.605	224.001	231.988	239.975	247.962	255.949	263.936	271.923	279.910	287.897	295.884	303.871	311.858	319.845	327.832	335.819
0.35	217.982	204.985	211.988	218.991	225.994	232.997	239.999	246.999	253.999	260.999	267.999	274.999	281.999	288.999	295.999	302.999
0.4	199.791	187.791	178.791	170.791	162.791	154.791	146.791	138.791	130.791	122.791	114.791	106.791	98.791	90.791	82.791	74.791
0.45	169.443	153.635	157.827	162.019	166.211	170.403	174.595	178.787	182.979	187.171	191.363	195.555	199.747	203.939	208.131	212.323
0.5	149.443	134.957	138.957	142.957	146.957	150.957	154.957	158.957	162.957	166.957	170.957	174.957	178.957	182.957	186.957	190.957
0.55	131.454	118.364	121.454	124.544	127.634	130.724	133.814	136.904	140.004	143.104	146.204	149.304	152.404	155.504	158.604	161.704
0.6	115.640	103.640	107.640	111.640	115.640	119.640	123.640	127.640	131.640	135.640	139.640	143.640	147.640	151.640	155.640	159.640
0.65	101.715	91.715	91.715	91.715	91.715	91.715	91.715	91.715	91.715	91.715	91.715	91.715	91.715	91.715	91.715	91.715
0.7	89.715	80.715	80.715	80.715	80.715	80.715	80.715	80.715	80.715	80.715	80.715	80.715	80.715	80.715	80.715	80.715
0.75	79.170	80.865	82.540	84.225	85.910	87.595	89.280	90.965	92.650	94.335	96.020	97.705	99.390	101.075	102.760	104.445
0.8	69.973	71.374	72.775	74.176	75.577	76.978	78.379	79.780	81.181	82.582	83.983	85.384	86.785	88.186	89.587	90.988
0.85	62.470	64.070	65.670	67.270	68.870	70.470	72.070	73.670	75.270	76.870	78.470	80.070	81.670	83.270	84.870	86.470
0.9	54.927	56.827	58.727	60.627	62.527	64.427	66.327	68.227	70.127	72.027	73.927	75.827	77.727	79.627	81.527	83.427
0.95	48.785	49.989	50.993	51.997	52.999	53.999	54.999	55.999	56.999	57.999	58.999	59.999	60.999	61.999	62.999	63.999
1	43.399	44.005	44.731	45.397	46.003	46.894	47.547	48.300	49.053	49.906	50.807	51.708	52.609	53.510	54.411	55.312

**Ilustración 141: Demanda captada en función de la tarifa (Fuente: Elaboración propia)**

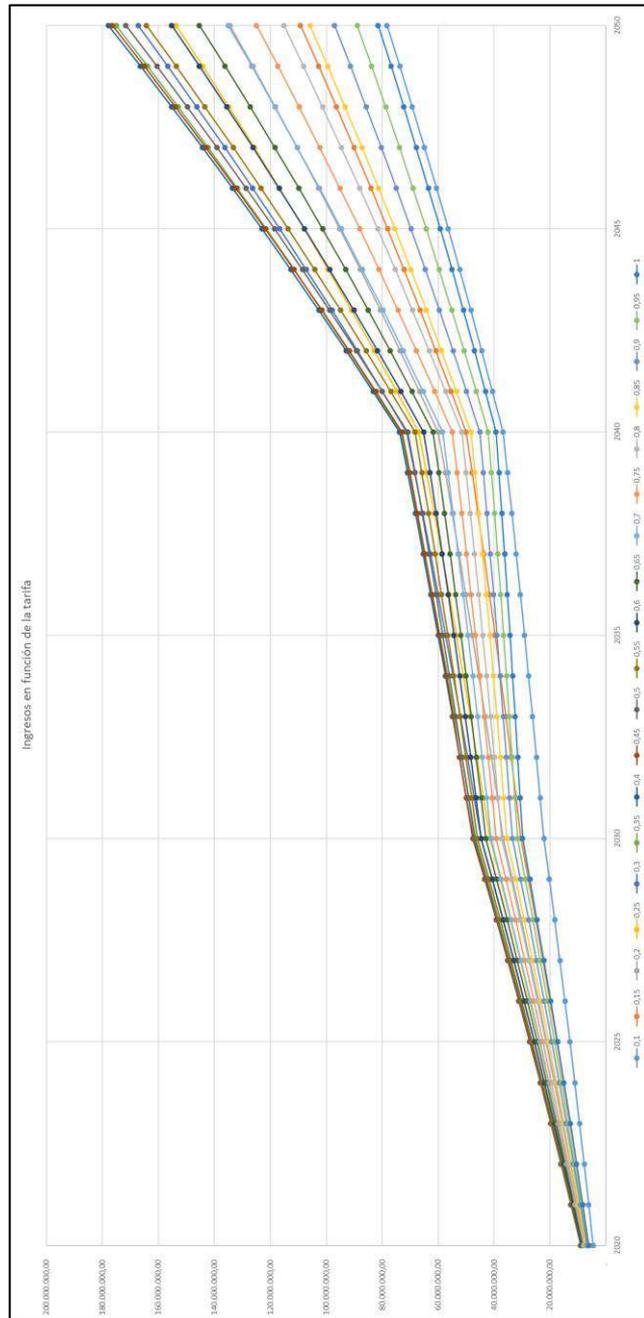


Como se puede observar en las tablas y en las siguientes gráficas:

- De las tarifas estudiadas, con la que mayor demanda se capta a lo largo de los años es con la menor de ellas, con la tarifa de 0,1 €/km, como es de esperar.
- En cambio, del rango de tarifas, se observa que el mayor ingreso que se obtiene en base a la demanda captada y su tarifa es con una cantidad de 0,4 €/km, pese a tener una menor captación de tráfico, decreciendo el ingreso tanto si aumenta la tarifa como si disminuye.



**Ilustración 143: Demanda captada en función de la tarifa (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 144: Ingresos generados en función de la tarifa (Fuente: Elaboración propia)**

#### 4.4.3. Operación

Partiendo de los datos de demanda para cada tarifa, se estudian diferentes aspectos operativos para después poder calcular el estudio económico-financiero.

Para ello, se calcula lo siguiente:

- Trayectos al día: cada trayecto puede albergar 42 camiones.
- Kilómetros recorridos.
- Fuerza de trabajo.
- Trenes/locomotoras.
- Vagones: cada tren tiene 21 vagones.
- Personal.
- Capacidad.

En cuanto a la capacidad de la línea, es importante remarcar que desde la construcción de la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona, la línea convencional presenta unos niveles de saturación bajos que permiten abrir paso al establecimiento de nuevos servicios, como es la Autopista Ferroviaria.

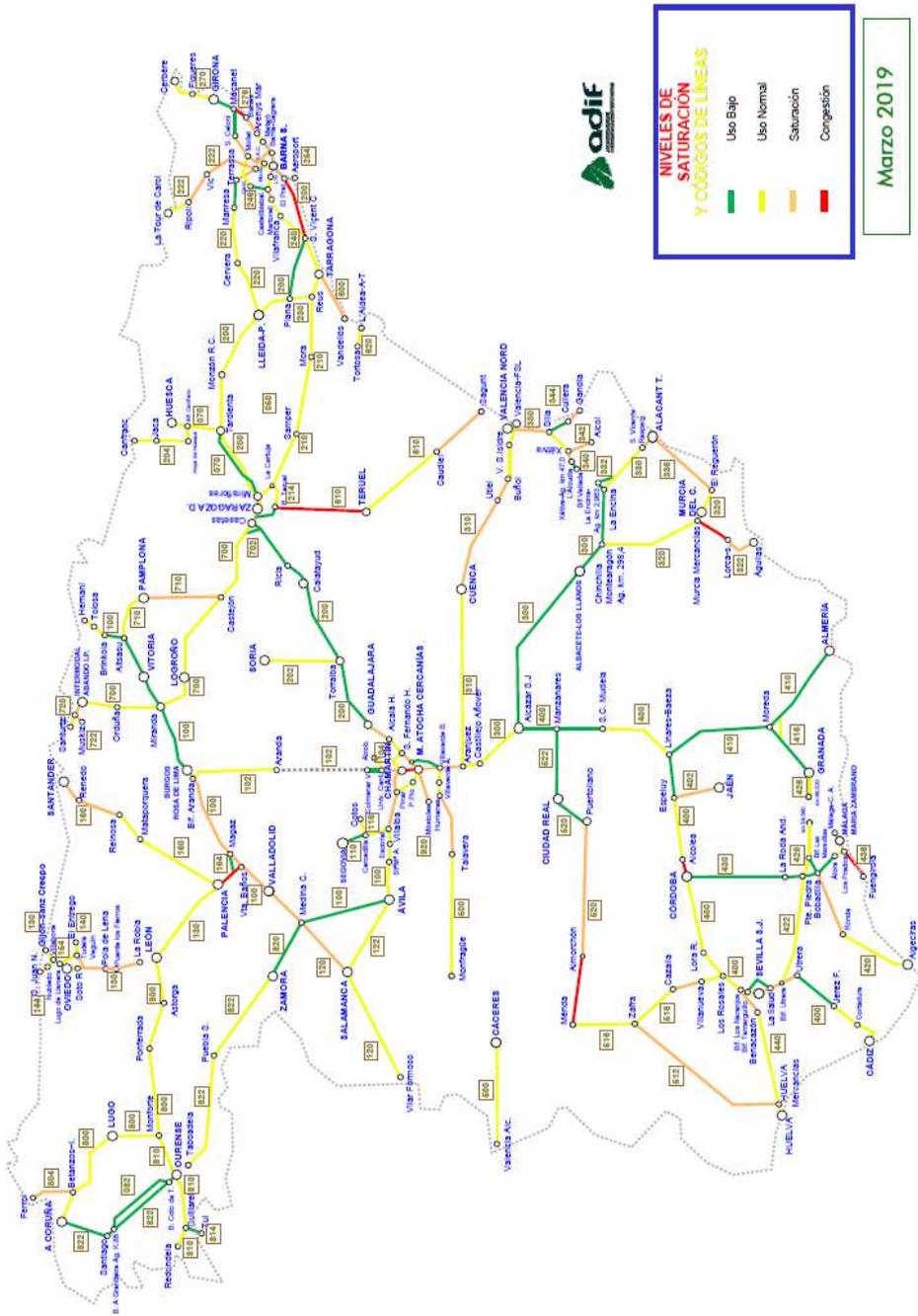
Según los datos de capacidad a fecha de septiembre de 2019, que se publican en la Declaración de la Red 2020 de Adif (ADIF, 2020), la capacidad media en ambos sentidos de la línea convencional es de 157 trenes, con un tráfico actual de 74 trenes y una disponibilidad de surcos de 83 unidades, por lo tanto, con una saturación del 47%.

LÍNEA	CAPACIDAD MEDIA DIARIA EN AMBOS SENTIDO	TRÁFICO ACTUAL	SURCOS DISPONIBLES	SATURACIÓN
200 MADRID CHAMARTIN-BARNA-FRANÇA	157	74	83	47%

**Ilustración 145: Capacidad de la línea según Declaración de Red (Fuente: Elaboración propia)**

Del mismo modo, se utiliza el Manual de Capacidades de ADIF (Adif, 2019), de marzo de 2019, en el que se publica la capacidad de la línea, por tramos, con una serie de fichas que informan de la saturación en función de los horarios, sentidos, bandas de mantenimiento, surcos y condiciones de acceso.

Tras analizar estos documentos y observar el número máximo de trayectos para la demanda captada más alta (con la tarifa menor) se observa que con un total de 54 trayectos la línea tendría la capacidad suficiente (en la actualidad) como para albergar este nuevo servicio.



**Ilustración 146: Mapa de capacidades de la red (Fuente: Adif, 2019)**

Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona.  
 Ampliación del túnel "La Romera" para el paso de material rodante compatible.



<b>Línea:</b>	200 MADRID CHAMARTIN - BARNA-FRANÇA
<b>Tramo:</b>	MADRID CHAMARTIN - S. FERNANDO HEN.
<b>Vigencia:</b>	28/03/2019

Características :		Clasif.	C1	Kilómetros	15,9
Equip. Línea	<input checked="" type="checkbox"/> Tren Tierra <input type="checkbox"/> GSM-R <input checked="" type="checkbox"/> Asfa <input type="checkbox"/> LZB <input type="checkbox"/> Erms 1 <input type="checkbox"/> Erms 2 <input type="checkbox"/> Alp				
Descartpolón	Vía doble electrificada a 3 kv.				
Bloqueo	BAB con CTC				
B Mantenimto	De 1:00h a 4:00h.				
Condiciones de Acceso					

Cupos de surcos por tipo de tráfico :									
Sentido : S. FERNANDO HEN.									
Mod	0-3 h	3-8 h	8-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Tot
	BM	BM	MIC	MIC	MIC	MIC	MIC	MIC	-
VLD	1	1	1	1	1	1	1	1	8
VCR	0	0	7	7	7	7	7	7	42
Mero	7	8	7	7	7	7	7	7	57
Tot	8	9	16	16	16	16	16	16	107

Sentido : MADRID CHAMARTIN									
Mod	0-3 h	3-8 h	8-9 h	9-12 h	12-15 h	15-18 h	18-21 h	21-24 h	Tot
	BM	BM	MIC	MIC	MIC	MIC	MIC	MIC	-
VLD	1	1	4	1	1	1	1	1	11
VCR	0	5	5	7	7	7	7	7	46
Mero	9	7	6	7	7	7	7	7	57
Tot	10	13	16	16	16	16	16	16	118

Tráfico real programado: [ Estación de referencia: HORTALEZA 28/03/2019 (J) ]																										
Sentido : S. FERNANDO HEN.																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Tot	
Cerc.	0	0	0	0	2	4	2	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	2	0	0	0	0	18	
VLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
VMD	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6	
RentefM.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
Contín.	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
Acolona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transf.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
LowC.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Tot	1				8						7			3			3			4					33	
NSat	13 %				89 %					47 %			47 %			20 %			20 %			27 %			0 %	31
Sentido : MADRID CHAMARTIN																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Tot	
Cerc.	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	8	
VLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	
VMD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	6	
RentefM.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	
Contín.	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	
Acolona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transf.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
LowC.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
Tot	3				1			5			2			2			4			3			4		24	
NSat	30 %				8 %			33 %			13 %			13 %			27 %			20 %			27 %			21

**Ilustración 147: Ficha de capacidad de la línea (Fuente: Adif, 2019)**

Partiendo de la demanda captada en la AF se obtiene lo siguiente. Se presentan los resultados de forma reducida (años 2020, 2030, 2040 y 2050) para poder visualizarse correctamente, pero se recomienda ver los resultados completos en los Anexos al final de este TFM:

		2020	2030	2040	2050			2020	2030	2040	2050
DEMANDA VP/AÑO (AF)	0,1	68.707	293.094	431.696	814.565	DEMANDA VP/DIA VAGONES (AF)	0,1	188	803	1.183	2.232
	0,15	61.097	267.383	391.038	757.920		0,15	167	733	1.071	2.076
	0,2	54.264	242.547	351.577	699.516		0,2	149	665	963	1.916
	0,25	48.166	218.879	313.919	639.905		0,25	132	600	860	1.753
	0,3	42.752	196.624	278.592	579.891		0,3	117	539	763	1.589
	0,35	37.964	175.963	245.994	520.490		0,35	104	482	674	1.426
	0,4	33.741	157.006	216.367	462.843		0,4	92	430	593	1.268
	0,45	30.023	139.791	189.791	408.076		0,45	82	383	520	1.118
	0,5	26.754	124.292	166.211	357.155		0,5	73	341	455	979
	0,55	23.879	110.437	145.465	310.766		0,55	65	303	399	851
	0,6	21.350	98.117	127.327	269.267		0,6	58	269	349	738
	0,65	19.125	87.205	111.533	232.699		0,65	52	239	306	638
	0,7	17.163	77.565	97.814	200.853		0,7	47	213	268	550
	0,75	15.431	69.061	85.910	173.353		0,75	42	189	235	475
	0,8	13.900	61.563	75.579	149.737		0,8	38	169	207	410
	0,85	12.543	54.951	66.606	129.519		0,85	34	151	182	355
0,9	11.339	49.116	58.802	112.230	0,9	31	135	161	307		
0,95	10.268	43.961	52.001	97.440	0,95	28	120	142	267		
1	9.313	39.401	46.063	84.773	1	26	108	126	232		

**Ilustración 148: Demanda captada resultante (Fuente: Elaboración propia)**

1. Trayectos a realizar y los kilómetros recorridos a lo largo del año:

		2020	2030	2040	2050			2020	2030	2040	2050
TRAYECTOS DIA (AF)	0,1	4,5	19,1	28,2	53,1	TRAYECTOS equival. (AF)	0,1	5	20	29	54
	0,15	4,0	17,4	25,5	49,4		0,15	4	18	26	50
	0,2	3,5	15,8	22,9	45,6		0,2	4	16	23	46
	0,25	3,1	14,3	20,5	41,7		0,25	4	15	21	42
	0,3	2,8	12,8	18,2	37,8		0,3	3	13	19	38
	0,35	2,5	11,5	16,0	34,0		0,35	3	12	17	34
	0,4	2,2	10,2	14,1	30,2		0,4	3	11	15	31
	0,45	2,0	9,1	12,4	26,6		0,45	2	10	13	27
	0,5	1,7	8,1	10,8	23,3		0,5	2	9	11	24
	0,55	1,6	7,2	9,5	20,3		0,55	2	8	10	21
	0,6	1,4	6,4	8,3	17,6		0,6	2	7	9	18
	0,65	1,2	5,7	7,3	15,2		0,65	2	6	8	16
	0,7	1,1	5,1	6,4	13,1		0,7	2	6	7	14
	0,75	1,0	4,5	5,6	11,3		0,75	2	5	6	12
	0,8	0,9	4,0	4,9	9,8		0,8	1	5	5	10
	0,85	0,8	3,6	4,3	8,4		0,85	1	4	5	9
0,9	0,7	3,2	3,8	7,3	0,9	1	4	4	8		
0,95	0,7	2,9	3,4	6,4	0,95	1	3	4	7		
1	0,6	2,6	3,0	5,5	1	1	3	4	6		

**Ilustración 149: Trayectos totales (Fuente: Elaboración propia)**

		2020	2030	2040	2050
KM TOTALES AL AÑO (AF)	0,1	1.226.400	4.905.600	7.113.120	13.245.120
	0,15	981.120	4.415.040	6.377.280	12.264.000
	0,2	981.120	3.924.480	5.641.440	11.282.880
	0,25	981.120	3.679.200	5.150.880	10.301.760
	0,3	735.840	3.188.640	4.660.320	9.320.640
	0,35	735.840	2.943.360	4.169.760	8.339.520
	0,4	735.840	2.698.080	3.679.200	7.603.680
	0,45	490.560	2.452.800	3.188.640	6.622.560
	0,5	490.560	2.207.520	2.698.080	5.886.720
	0,55	490.560	1.962.240	2.452.800	5.150.880
	0,6	490.560	1.716.960	2.207.520	4.415.040
	0,65	490.560	1.471.680	1.962.240	3.924.480
	0,7	490.560	1.471.680	1.716.960	3.433.920
	0,75	490.560	1.226.400	1.471.680	2.943.360
	0,8	245.280	1.226.400	1.226.400	2.452.800
	0,85	245.280	981.120	1.226.400	2.207.520
0,9	245.280	981.120	981.120	1.962.240	
0,95	245.280	735.840	981.120	1.716.960	
1	245.280	735.840	981.120	1.471.680	

**Ilustración 150: Kilómetros recorridos totales (Fuente: Elaboración propia)**

2. Se obtienen los trenes y vagones a disponer:

		2020	2030	2040	2050
TRENES TOT (AF)	0,1	4	14	20	37
	0,15	4	13	18	33
	0,2	4	11	16	31
	0,25	4	10	15	29
	0,3	3	9	14	26
	0,35	3	9	13	24
	0,4	3	8	10	21
	0,45	3	7	9	19
	0,5	3	7	8	17
	0,55	3	6	7	15
	0,6	3	6	7	13
	0,65	3	5	6	11
	0,7	3	5	6	10
	0,75	3	4	5	9
	0,8	2	4	4	7
	0,85	2	4	4	7
	0,9	2	4	4	6
0,95	2	3	4	6	
1	2	3	4	5	

**Ilustración 151: Trenes a disponer a lo largo de los años (Fuente: Elaboración propia)**

		2020	2030	2040	2050
VAGONES TOT (AF)	0,1	84	294	420	777
	0,15	84	273	378	693
	0,2	84	231	336	651
	0,25	84	210	315	609
	0,3	63	189	294	546
	0,35	63	189	273	504
	0,4	63	168	210	441
	0,45	63	147	189	399
	0,5	63	147	168	357
	0,55	63	126	147	315
	0,6	63	126	147	273
	0,65	63	105	126	231
	0,7	63	105	126	210
	0,75	63	84	105	189
	0,8	42	84	84	147
	0,85	42	84	84	147
	0,9	42	84	84	126
0,95	42	63	84	126	
1	42	63	84	105	

**Ilustración 152: Vagones a disponer a lo largo de los años (Fuente: Elaboración propia)**

3. Se obtienen los maquinistas:

		2020	2030	2040	2050
Personal diario laboral (AF)	0,1	10	40	58	108
	0,15	8	36	52	100
	0,2	8	32	46	92
	0,25	8	30	42	84
	0,3	6	26	38	76
	0,35	6	24	34	68
	0,4	6	22	30	62
	0,45	4	20	26	54
	0,5	4	18	22	48
	0,55	4	16	20	42
	0,6	4	14	18	36
	0,65	4	12	16	32
	0,7	4	12	14	28
	0,75	4	10	12	24
	0,8	2	10	10	20
	0,85	2	8	10	18
	0,9	2	8	8	16
0,95	2	6	8	14	
1	2	6	8	12	

**Ilustración 153: Maquinistas necesarios a lo largo de los años (Fuente: Elaboración propia)**

#### 4.4.4. Estudio económico-financiero

Tras analizar la demanda captada en función del modelo de utilidad, sus tarifas y las condiciones de operación para poder dar servicio al trasvase modal en la Autopista Ferroviaria, se puede realizar el estudio económico-financiero para analizar con cuál de las tarifas existentes, dentro del rango estudiado, el servicio sería rentable o bajo qué condiciones podría ser viable de forma económica o financiera.

El estudio se ha realizado con cuatro tarifas diferentes, en función de los resultados que aportaban:

- Tarifa 0,1 €/km: tarifa que consigue el mayor trasvase modal.
- Tarifa 0,4 €/km: tarifa que consigue el mayor ingreso.
- Tarifa 0,5 €/km: tarifa que consigue la mayor rentabilidad.
- Tarifa 0,75 €/km: tarifa actual de referencia.

##### 4.4.4.1. Inversiones

Las inversiones a realizar para poder prestar el servicio de AF se dividen en: inversión en infraestructura, inversión en terminales, inversión en locomotoras e inversión en vagones.

- **Inversión en infraestructura:** para modelizar la inversión en infraestructura, se tiene en cuenta (como inversión de mayor envergadura) las labores de ampliación de los túneles a lo largo de toda la línea. Mediante la determinación de la longitud de todos los túneles y el precio obtenido para la ampliación del Túnel de la Romera (16.743,16 €/ml, IVA incluido), objeto de este TFM. Este dato sirve para conocer, en unos órdenes de magnitud, la inversión a acometer en la infraestructura. Teniendo en cuenta que la capacidad de la línea no se ve afectada, no se cree conveniente incluir en este estudio la duplicación de vía del tramo en vía única.
- **Inversión en terminales:** siguiendo con las recomendaciones del Estudio redactado por el Ministerio de Fomento, se establecen la necesidad de adecuar dos terminales con un coste total de 63.928.368 € y dos tractores de maniobras con un coste total de 3.000.000 €.

El mantenimiento anual de las terminales y de los tractores de maniobras se fija en un 2% del coste de inversión al año.

- **Inversión en locomotoras:** dada la inversión tan relevante del material rodante y aplicada su necesidad en función del crecimiento de la demanda, se decide realizar la inversión en material rodante en tres años diferentes, cumpliendo con las necesidades de operación (en los años 2023, 2030 y 2040). Se fija un coste total de 5.600.000 € por locomotora, según el precio de adjudicación a Stadler Valencia en enero del 2020 para operar en el Corredor Mediterráneo.

El coste de mantenimiento de una locomotora se fija en 1,6 €/tren·km al año.

- **Inversión en vagones:** del mismo modo que para la inversión en locomotoras, la inversión en vagones de mercancías se realiza en tres periodos diferentes que cumplen con las necesidades de operación. El elevado coste de estos vagones intermodales se fija en un coste total de 444.514 €, según el Estudio del Ministerio de Fomento en 2015 (coste de un vagón tipo Modalohr).

El coste de mantenimiento de un vagón intermodal se fija en 1,6 €/tren·km al año.

#### 4.4.4.2. Gastos de personal

El personal a disponer para llevar a cabo el servicio se agrupa en operarios de terminales, maquinistas de tren, y personal de administración o gestión. Los costes de cada trabajador, siguiendo las cifras del Estudio del Ministerio, son:

- **Operarios de terminales:** 48.056 €/año por trabajador, con un total de 69 operarios.
- **Maquinistas:** 115.334 €/año por maquinista.
- **Administración y gestión:** un total de 742.162 €.

A continuación, se incluyen unas tablas que muestran (de forma reducida para los años de inversión, año de puesta en servicio, 2030, 2040 y 2050), en función de la tarifa de estudio, las inversiones a realizar en función de la demanda captada, los costes de operación y los ingresos por tarifa que posteriormente se utilizarán para realizar el análisis de rentabilidad. Se recomienda ver los cálculos completos en los Anexos.

	2020	2021	2022	2023	2024	2030	2040	2050
<b>0,1 €/km</b>								
INVERSIÓN	90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	366.061.875,74	-	89.608.764,00	253.891.498,00	-
- INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA	90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	-	89.608.764,00	253.891.498,00	-
- INVERSIÓN EN TERMINALES				66.928.386,00				
- INVERSIÓN EN LOCOMOTORAS				78.400.000,00		33.600.000,00 €	95.200.000,00 €	
- INVERSIÓN EN VAGONES				130.687.116,00		56.008.764,00 €	158.691.498,00 €	
INGRESOS POR TARIFA					11.169.067,85	22.191.249,09	36.826.219,24	78.290.723,78
COSTES DE TRACCIÓN								
- Personal de tracción			2.537.348,00 €			4.613.360,00 €	6.688.372,00 €	12.456.072,00 €
- Energía de tracción			3.034.463,65			10.689.580,74	23.448.112,74	36.206.644,74
COSTES DE ADMINISTRACIÓN			742.162,00 €			797.226,61 €	898.228,67 €	1.012.026,86 €
COSTES ASOCIADOS A TERMINAL								
- Personal								
- Mantenimiento			3.315.864,00 €			3.561.884,11 €	4.013.146,54 €	4.521.578,08 €
- Tractor de maniobras			1.278.567,72 €			1.373.430,89 €	1.547.433,29 €	1.743.480,36 €
COSTES MATERIAL MÓVIL			60.000,00 €			64.451,69 €	72.617,19 €	81.817,19 €
- Mantenimiento locomotoras			4.316.928,00 €			7.848.960,00 €	11.380.992,00 €	21.392.192,00 €
- Mantenimiento vagones			4.856.544,00 €			8.830.080,00 €	12.803.616,00 €	23.841.216,00 €

**Ilustración 154: Inversiones y gastos para una tarifa de 0,1 €/km (Fuente: Elaboración propia)**

	2020	2021	2022	2023	2024	2030	2040	2050
<b>0,4 €/km</b>								
INVERSIÓN	90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	276.453.111,74	-	29.869.588,00	164.282.734,00	-
- INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA	90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	-	29.869.588,00	164.282.734,00	-
- INVERSIÓN EN TERMINALES				66.925.386,00				
- INVERSIÓN EN LOCOMOTORAS				44.800.000,00		11.700.000,00	61.600.000,00	
- INVERSIÓN EN VAGONES				74.678.352,00		18.669.588,00	102.682.734,00	
INGRESOS POR TARIFA					23.413.962,79	47.550.019,46	73.829.445,89	177.941.807,34
COSTES DE TRACCIÓN								
- Personal de tracción					1.384.008,00	2.537.348,00	3.460.020,00	7.150.708,00
- Energía de tracción					3.034.461,65	10.689.580,74	23.448.112,74	36.206.644,74
COSTES DE ADMINISTRACIÓN								
COSTES ASOCIADOS A TERMINAL					742.162,00	797.226,61	888.228,67	1.012.026,86
- Personal					3.315.864,00	3.561.884,11	4.013.145,54	4.521.578,08
- Mantenimiento					1.278.567,72	1.373.430,89	1.547.433,29	1.743.480,36
- Tractor de maniobras					60.000,00	64.451,69	72.617,19	81.817,19
COSTES MATERIAL MÓVIL								
- Mantenimiento locomotoras					2.354.688,00	4.316.928,00	5.886.720,00	12.165.888,00
- Mantenimiento vagones					2.649.024,00	4.856.544,00	6.622.560,00	13.886.624,00

**Ilustración 155: Inversiones y gastos para una tarifa de 0,4 €/km (Fuente: Elaboración propia)**

	2020	2021	2022	2023	2024	2030	2040	2050
<b>0,5 €/km</b>								
INVERSIÓN	90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	261.518.317,74	-	14.934.794,00	134.413.146,00	-
- INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA	90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	-	14.934.794,00	134.413.146,00	-
- INVERSIÓN EN TERMINALES	-	-	-	66.928.386,00	-	-	-	-
- INVERSIÓN EN LOCOMOTORAS	-	-	-	39.200.000,00	-	5.600.000,00	50.400.000,00	-
- INVERSIÓN EN VAGONES	-	-	-	65.343.558,00	-	9.334.794,00	84.013.146,00	-
INGRESOS POR TARIFA	-	-	-	-	23.178.341,05	47.052.979,79	70.893.903,55	171.636.996,32
COSTES DE TRACCIÓN	-	-	-	-	-	-	-	-
- Personal de tracción	-	-	-	-	1.153.340,00	2.076.012,00	2.537.348,00	5.536.032,00
- Energía de tracción	-	-	-	-	3.034.461,65	10.689.580,74	23.448.112,74	36.206.644,74
COSTES DE ADMINISTRACIÓN	-	-	-	-	742.162,00	797.226,61	898.228,67	1.012.026,86
COSTES ASOCIADOS A TERMINAL	-	-	-	-	-	-	-	-
- Personal	-	-	-	-	3.315.864,00	3.561.884,11	4.013.145,54	4.521.578,08
- Mantenimiento	-	-	-	-	1.778.967,72	1.373.430,89	1.547.435,29	1.743.480,36
- Tractor de maniobras	-	-	-	-	60.000,00	64.451,69	72.617,19	81.817,19
COSTES MATERIAL MÓVIL	-	-	-	-	-	-	-	-
- Mantenimiento locomotoras	-	-	-	-	1.962.240,00	3.532.032,00	4.316.928,00	9.418.752,00
- Mantenimiento vagones	-	-	-	-	2.207.520,00	3.973.536,00	4.856.544,00	10.596.096,00

**Ilustración 156: Inversiones y gastos para una tarifa de 0,5 €/km (Fuente: Elaboración propia)**

	2020	2021	2022	2023	2024	2030	2040	2050
<b>0,75 €/km</b>								
INVERSIÓN	90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	216.713.935,74	-	14.934.794,00	59.739.176,00	-
- INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA	90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	-	-	-	-
- INVERSIÓN EN TERMINALES	-	-	-	66.928.386,00	-	-	-	-
- INVERSIÓN EN LOCOMOTORAS	-	-	-	22.400.000,00	-	5.600.000,00	22.400.000,00	-
- INVERSIÓN EN VAGONES	-	-	-	37.339.176,00	-	9.334.794,00	37.339.176,00	-
INGRESOS POR TARIFA	-	-	-	-	19.497.511,43	39.216.377,73	54.964.807,73	124.961.675,09
COSTES DE TRACCIÓN	-	-	-	-	-	-	-	-
- Personal de tracción	-	-	-	692.004,00	-	1.153.340,00	1.384.008,00	2.768.016,00
- Energía de tracción	-	-	-	3.034.461,65	-	10.689.580,74	23.448.112,74	36.206.644,74
COSTES DE ADMINISTRACIÓN	-	-	-	-	-	-	-	-
COSTES ASOCIADOS A TERMINAL	-	-	-	-	-	-	-	-
- Personal	-	-	-	3.315.864,00	-	3.561.884,11	4.013.145,54	4.521.578,08
- Mantenimiento	-	-	-	1.278.967,72	-	1.373.430,89	1.547.435,29	1.743.480,36
- Tractor de maniobras	-	-	-	60.000,00	-	64.451,69	72.617,19	81.817,19
COSTES MATERIAL MÓVIL	-	-	-	-	-	-	-	-
- Mantenimiento locomotoras	-	-	-	1.177.344,00	-	1.962.240,00	2.354.688,00	4.709.376,00
- Mantenimiento vagones	-	-	-	1.324.512,00	-	2.207.520,00	2.649.024,00	5.298.048,00

**Ilustración 157: Inversiones y gastos para una tarifa de 0,75 €/km (Fuente: Elaboración propia)**

#### 4.4.4.3. Ingresos

Los ingresos a calcular vienen determinados por la tarifa a disponer en el servicio, los kilómetros recorridos por los transportistas y el número de camiones. Los cálculos de ingresos vienen reflejados en los cálculos de resultados económicos-financieros, IVA incluido.

#### 4.4.4.4. Resultados

Para conocer los resultados de rentabilidad y analizar así la viabilidad del servicio, se realiza un análisis de rentabilidad en función de los cuatro posibles casos estudiados, siguiendo las tarifas de 0,1, 0,4, 0,5 y 0,75 €/km.

Como se puede observar en las siguientes imágenes que reflejan el estudio económico-financiero del proyecto, cada uno de los casos presenta una Tasa Interna de Retorno (TIR) diferente. Cuanto mayor es la TIR, más rentabilidad ofrece el proyecto y, por lo tanto, más opciones hay de que un proyecto se lleve a cabo.

En este estudio se obtienen las siguientes TIR para cada una de las tarifas estudiadas:

- Tarifa 0,1 €/km: inviable. Los gastos superan en gran medida los ingresos.
- Tarifa 0,4 €/km: TIR del 11,01 %.
- Tarifa 0,5 €/km: TIR del 12,99 %.
- Tarifa 0,75 €/km: TIR del 10,90 %.

Como se puede observar, la tarifa que genera más demanda no es viable económicamente por el escaso ingreso que genera y la tarifa que maximiza ingresos no es la tarifa que más rentabilidad genera, siendo ésta la tarifa de 0,5 €/km previsiblemente por la diferencia en los gastos asociados a la reducción de demanda.

Dado que la inversión a realizar, tanto en infraestructura como en terminales y material rodante, es muy elevada y no llegaría a ser rentable de otra manera, para llegar a obtener estas rentabilidades ha sido necesario modelizar el cálculo financiando la inversión de la siguiente manera:

- **Aportación UE a fondo perdido** (subvención) del 70% para los cuatro primeros años, para la inversión en infraestructura, terminales y material rodante. Porcentaje similar a los proyectos de estas características.
- **Capital propio:** 12% de capital.
- **Deuda:** 18% de deuda a devolver en el plazo del proyecto (hasta 2050) en cuotas de principal constante y a un tipo de interés fijo del 6% (considerando un margen del 1% sobre la financiación más barata posible a obtener a fecha de redacción del TFM, a través del Instituto de Crédito Oficial). Se ha supuesto una posible hipótesis de participación público-privada, aunque esta modelización serviría igualmente para una iniciativa totalmente pública.

Es importante remarcar la necesidad de financiar el proyecto mediante una aportación a fondo perdido para poder ofrecer un servicio que cumpla con el trasvase modal objetivo y que sea rentable. Como se ha remarcado en diferentes lugares de este TFM, en los últimos meses, por parte del Gobierno de España, se ha apostado por este proyecto como un proyecto estratégico y prioritario para alinearse con los objetivos europeos, dentro del Corredor Mediterráneo. Es un proyecto que sería idóneo para ser financiado con un fondo reservado desde la UE para este tipo de proyectos.

Estos resultados están alineados con las palabras recogidas por Isabel Pardo, presidenta de Adif, en un coloquio organizado por Executive Forum (El Economista, 2020) el pasado día 8 de julio, en el que tras decir que han apostado por potenciar el eje central Algeciras-Madrid-Zaragoza y afirmar que *“Tenemos ya identificadas las obras necesarias, con el tema de gálivos”*, la presidenta de Adif menciona que *“Europa tiene que apoyarnos y creo que en ese sentido va avanzando, nuestra relación con la UE es muy intensa. Los grandes nodos logísticos han de ser comunes”*.

Además de poder financiarse por mecanismos como *“Conectar Europa”* ampliamente relacionado con los objetivos de este corredor, tras los acontecimientos vividos con la crisis sanitaria se busca *“ampliar el CEF 2 asignando más recursos presupuestarios para lograr una rápida transición hacia una movilidad ecológica y sostenible”* (Unife, 2020), situando el ferrocarril como *“elemento central del sistema de transporte europeo, la columna vertebral de la movilidad del mañana”*.

Sería interesante analizar también, tras el lanzamiento del plan de recuperación propuesto por la Comisión Europea si con el nuevo instrumento *“Next Generation EU”*, explicado con anterioridad en este TFM, la inversión necesaria para poner en servicio esta Autopista Ferroviaria que genera valor social, económico y medioambiental sería viable por medio de dicho instrumento de financiación.

Otra de las conclusiones obtenidas, analizando los resultados de rentabilidad en función de la tarifa, plantea una pregunta. ¿Es mejor escoger una tarifa de 0,4 €/km que genera más trasvase modal pero menor rentabilidad? O, ¿es mejor escoger una tarifa de 0,5 €/km que genera menos trasvase modal, pero es más fácilmente financiable? En realidad, sería importante encontrar un punto intermedio que maximice la rentabilidad para que pueda ser un proyecto financiable y logre un trasvase modal importante conforme a los objetivos buscados con el proyecto.

Realmente, en este momento que atravesamos donde se están replanteando muchas de las cosas que se realizaban hasta hoy, sería un buen momento para apostar por el ferrocarril de mercancías y dar un paso adelante como lo han hecho otros países europeos en cuanto a la potenciación de este modo de transporte que se alinea con los objetivos perseguidos por Europa. El presidente de Francia, Emmanuel Macron, afirmaba en julio de 2020 que Francia *“reconstruiría masivamente”* la carga ferroviaria como parte de su política de transición ecológica (Europe1, 2020) y que se busca duplicar la participación del ferrocarril (del 9% al 18%) en el transporte de mercancías para 2030.

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050												
<b>ESTUDIO ECONÓMICO PARA T.A.R.I.F.A 0,1 €/KM (MÁXIMA DEMANDA)</b>																																								
INE REGIÓN A REALIZAR	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74	80.025.373,74		
APORTACIÓN LE A FONDO PERIODO (SUBVENCIÓN)	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62	63.032.240,62
INVERSIÓN SIN APORTACIÓN LE FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	16.993.133,12	
FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	
CAPITAL	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19	11.003.630,19
DEUDA	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29
GASTOS FINANCIEROS PERIODO CONSTRUCCIÓN	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36
COBRO DE INGRESOS DE EXPLOTACIÓN																																								
COBRO DEL IVA DE INGRESOS																																								
PAGO DE GASTOS DE EXPLOTACIÓN																																								
PAGO DEL IVA DE GASTOS																																								
LIQUIDACIÓN DE IVA																																								
COBRO DE INGRESOS FINANCIEROS																																								
PAGO DE GASTOS FINANCIEROS																																								
PAGO DE IMPUESTOS																																								
FLUJO DE CAJA PARA EL SERVICIO DE LA DEUDA	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	
PAGO DE PRINCIPAL																																								
PAGO DE INTERESES																																								
FLUJO DE CAJA QUE GENERA EL PROYECTO	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	
TIR #INUMI#	8.109.282,46	8.112.674,20	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23	8.330.854,23
GASTOS FINANCIEROS	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	495.163,36	
PAGO DE PRINCIPAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SALDO VIVO DEUDA	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	16.505.445,29	

**Ilustración 158: Estudio económico-financiero para una tarifa de 0,1 €/km (Fuente: Elaboración propia)**

ESTUDIO ECONÓMICO PARA TARIFA 0,4 €/KM (MÁXIMOS INGRESOS)		2020	2021	2022	2023	2024	2030	2040	2050
INVERSIÓN A REALIZAR		- 90.046.373,74	- 90.046.373,74	- 90.046.373,74	- 276.453.111,74				
APORTACIÓN LEA FONDO PERDIDO (SUBVENCIÓN)	70%	- 63.032.461,62	- 63.032.461,62	- 63.032.461,62	- 193.517.178,22				
INVERSIÓN SIN APORTACIÓN LEA		- 27.013.912,12	- 27.013.912,12	- 27.013.912,12	- 82.935.939,52				
FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN									
CAPITAL	40,00%	11.003.630,19	11.407.021,93	11.825.203,96	35.037.539,97		11.947.835,20 €	65.713.093,60 €	
PRÉSTAMOS	60%	16.009.452,29	17.103.320,50	17.729.802,94	54.258.309,81		17.921.752,60 €	98.509.040,40 €	
GASTOS FINANCIEROS PERÍODO CONSTRUCCIÓN		- 493.103,90	- 1.503.642,70	- 2.549.092,78	- 4.037.930,16				
COBRO DE INGRESOS DE EXPLOTACIÓN	0,4 €/KM			24.413.962,79	47.550.019,46		73.829.445,89	177.941.807,34	
COBRO DEL IVA DE INGRESOS				4.063.580,32	8.252.483,72		12.813.374,91	30.882.462,43	
PAGO DE GASTOS DE EXPLOTACIÓN		- 2.894.347,73	- 2.894.347,73	- 2.894.347,73	- 8.886.992,88		- 28.197.394,04	- 45.948.837,43	
PAGO DEL IVA DE GASTOS				2.571.833,58	5.143.667,16		7.874.501,04	19.739.142,32	
LIQUIDACIÓN DEL IVA		- 2.894.347,73 €	- 2.894.347,73 €	- 2.894.347,73 €	- 8.886.992,88 €		- 1.491.726,74 €	- 158.407,11 €	
COBRO DE INGRESOS FINANCIEROS									
PAGO DE GASTOS FINANCIEROS									
PAGO DE IMPUESTOS									
FLUJO DE CAJA PARA EL SERVICIO DE LA DEUDA		2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	8.886.992,88	7.103.460,68	19.194.218,31	40.643.546,68	83.779.371,99
PAGO DE PRINCIPAL					3.848.521,89		3.848.521,89	4.744.609,53	14.601.573,57
PAGO DE INTERESES					6.119.149,89		5.271.334,50	5.946.193,21	438.047,21
FLUJO DE CAJA QUE GENERA EL PROYECTO		2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	8.886.992,88	-2.864.211,00	10.074.361,92	29.952.745,94	68.739.751,21
TIR	11,00%	- 8.109.282,46	- 8.532.674,20	- 8.930.854,23	- 26.151.527,00	-2.864.211,00	10.074.361,92	-35.760.349,66	68.739.751,21
GASTOS FINANCIEROS	6%	495.163,36	1.503.642,70	2.549.092,78	4.657.916,16	6.119.149,89	5.271.334,50	5.946.193,21	438.047,21
PAGO DE PRINCIPAL		0	0	0	0	3.848.521,89	3.848.521,89	4.744.609,53	14.601.573,57
SALDO VIVO DEUDA		16.505.445,29	33.615.978,18	51.353.781,12	103.910.090,93	100.061.569,05	94.892.190,53	146.015.735,66	0,00

**Ilustración 159: Estudio económico-financiero para una tarifa de 0,4 €/km (Fuente: Elaboración propia)**

ESTUDIO ECONÓMICO PARA TARIFA 0,5 €/KM (v/ MÁXIMA TIR)		2020	2021	2022	2023	2024	2030	2040	2050
INVERSIÓN A REALIZAR		90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	261.518.317,74				
APORTACIÓN LEA FONDO PERDIDO (SUBVENCIÓN)	70%	63.032.461,62	63.032.461,62	63.032.461,62	183.062.822,42				
INVERSIÓN SIN APORTACIÓN LEA		27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	78.455.495,32				
FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN									
CAPITAL	40,00%	11.003.630,19	11.407.021,93	11.825.203,96	33.212.514,13		5.973.917,60 €	53.765.236,40 €	
	60%	16.010.281,93	15.606.890,19	15.188.708,16	45.242.981,19		8.960.879,40 €	80.647.887,60 €	
GASTOS FINANCIEROS PERÍODO CONSTRUCCIÓN		495.163,90	1.589.642,78	2.540.032,78	4.973.720,00				
COBRO DE INGRESOS DE EXPLOTACIÓN	0,5 €/KM			23.178.341,05	47.052.979,79		70.893.903,55	171.656.996,32	
COBRO DEL IVA DE INGRESOS				4.022.687,29	8.166.219,63		12.303.900,62	29.788.339,03	
PAGO DE GASTOS DE EXPLOTACIÓN				13.754.155,37	26.068.154,04		41.690.357,43	69.116.427,23	
PAGO DEL IVA DE GASTOS				2.387.084,82	6.124.381,58		21.636.925,08	11.995.412,99	
LIQUIDACIÓN DEL IVA				2.894.347,73 €	2.894.347,73 €		2.041.838,05 €	9.333.024,46 €	
COBRO DE INGRESOS FINANCIEROS									
PAGO DE GASTOS FINANCIEROS									
PAGO DE IMPUESTOS									
FLUJO DE CAJA PARA EL SERVICIO DE LA DEUDA		2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	8.405.945,93	7.788.583,21	18.342.887,70	38.538.570,59	84.727.743,05
PAGO DE PRINCIPAL						3.747.131,57	3.747.131,57	4.195.175,39	12.259.964,15
PAGO DE INTERESES						5.957.939,19	4.877.796,12	5.062.397,12	367.798,92
FLUJO DE CAJA QUE GENERA EL PROYECTO		2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	8.405.945,93	-1.916.487,55	10.318.059,01	29.278.996,08	72.099.979,98
TIR	12,99%								
GASTOS FINANCIEROS	6%	8.109.282,46	8.532.674,20	8.930.854,23	24.806.588,20	-1.916.487,55	10.318.059,01	-24.486.260,32	72.099.979,98
PAGO DE PRINCIPAL		495.163,96	1.589.642,78	2.540.092,78	4.973.790,00				
PAGO DE INTERESES									
PAGO DE PRINCIPAL	130.781.316,32								
SALDO VIVO DEUDA	101.172.552,32	16.505.445,29	33.615.978,18	51.353.781,12	101.172.552,32	97.425.420,75	83.903.507,75	122.599.641,47	0,00

**Ilustración 160: Estudio económico-financiero para una tarifa de 0,5 €/km (Fuente: Elaboración propia)**

ESTUDIO ECONÓMICO PARA TARIFA 0,75 €/KM (TARIFA ACTUAL)		2020	2021	2022	2023	2024	2030	2040	2050
INVERSIÓN A REALIZAR		90.046.373,74	90.046.373,74	90.046.373,74	216.713.935,74				
AMORTIZACIÓN DE FONDO PERDIDO (SUBVENCIÓN)	70%	63.032.461,62	63.032.461,62	63.032.461,62	151.699.755,02				
INVERSIÓN SIN AMORTIZACIÓN		27.013.912,12	27.013.912,12	27.013.912,12	65.014.180,72		14.934.794,00	59.739.176,00	
FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN									
CAPITAL	40,00%	11.003.630,19	11.407.021,93	11.825.501,96	27.737.436,90		5.973.317,60	21.895.670,40	
DEUDA	60%	16.009.281,93	17.110.535,90	17.717.802,94	41.066.155,25		8.960.976,40	35.843.505,60	
GASTOS FINANCIEROS PERIODO CONSTRUCCIÓN		493.163,36	1.361.642,70	2.349.092,78	4.329.411,53				
COBRO DE INGRESOS DE EXPLOTACIÓN	0,75 €/KM				19.407.511,43		30.216.377,73	54.964.807,73	124.961.675,09
COBRO DEL IVA DE INGRESOS					3.383.865,62		6.896.148,20	9.539.346,80	21.687.563,44
PAGO DE GASTOS DE EXPLOTACIÓN					11.624.915,37		21.809.674,04	36.367.357,43	56.340.887,23
PAGO DEL IVA DE GASTOS					2.017.541,30		5.385.306,54	12.712.986,78	9.778.887,87
LIQUIDACIÓN DEL IVA					2.894.347,73		2.894.347,73	1.420.841,66	3.172.951,98
COBRO DE INGRESOS FINANCIEROS					0		0	0	0
PAGO DE GASTOS FINANCIEROS					0		0	0	0
PAGO DE IMPUESTOS					0		0	0	0
FLUJO DE CASH PARA EL SERVICIO DE LA DEUDA		2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	6.905.895,08	6.506.377,74	15.384.862,03	21.770.502,29	56.711.312,27
PAGO DE PRINCIPAL						3.442.960,61	3.442.960,61	3.891.004,43	7.475.354,99
PAGO DE INTERESES						5.474.307,37	4.503.667,84	3.526.637,96	224.800,65
FLUJO DE CASH QUE GENERA EL PROYECTO	TIR 10,90%	2.894.347,73	2.894.347,73	2.894.347,73	6.905.895,08	-2.410.990,24	8.039.233,58	14.332.853,89	49.011.696,63
GASTOS FINANCIEROS	6%	495.163,36	1.503.642,70	2.549.092,78	4.329.411,53	5.474.307,37	4.503.667,84	3.526.637,96	224.800,65
PAGO DE PRINCIPAL		0	0	0	0	3.442.960,61	3.442.960,61	3.891.004,43	7.475.354,99
SAUDO VIVO DEUDA		16.505.445,29	33.615.976,18	51.353.781,12	92.959.936,47	89.516.975,86	77.620.088,60	74.753.549,90	0,00

**Ilustración 161: Estudio económico-financiero para una tarifa de 0,75 €/km (Fuente: Elaboración propia)**

## 5. Túnel de La Romera

### 5.1. Contexto general

#### 5.1.1. Línea ferroviaria

Teniendo en cuenta que la línea está enmarcada dentro de la Red Transeuropea del Transporte como parte del Corredor Mediterráneo, como se viene evidenciando en el TFM, analizando las necesidades que exigen las autopistas ferroviarias y las condiciones actuales de la línea ferroviaria de estudio, uno de los requisitos que es necesario cumplir es el gálibo necesario para la circulación de material rodante que permita la intermodalidad de la mercancía.

En este caso, los túneles de la línea 44 Madrid-Barcelona, en la infraestructura existente, no cumplen con estos requisitos de interoperabilidad, siendo necesaria la ampliación de la sección para permitir dicha circulación.

Además, las vías de la línea son de ancho ibérico. Siendo parte de un corredor de mercancías planteado dentro de la Red Transeuropea y para potenciar la línea como autopista ferroviaria, a futuro, se debería plantear el cambio de ancho de vía al internacional (o al menos implementar el tercer hilo como fase intermedia), si se quiere ganar competitividad. Hasta el momento, no existen evidencias ni se ha planificado el cambio de ancho de vía en esta línea, por lo que en este TFM se aborda, como alcance, únicamente la ampliación del túnel con el ancho de vía actual, analizando la posibilidad futura de una intervención en el cambio de ancho de vía que no requiera nuevas actuaciones en la infraestructura. De esta forma, las futuras líneas de actuación a medio/largo plazo serán compatibles con la solución de la sección tipo transversal adoptada para la situación a corto plazo. De este modo, el material rodante debería ser compatible con ambos anchos de vía hasta que la explotación definitiva sea con ancho internacional.

Aun así, en junio de 2020, Adif realizó unas pruebas en ancho estándar del nuevo eje de ancho variable para mercancías con tecnología OGI, permitiendo el uso de vagones equipados con este sistema de ancho variable que permite la circulación de trenes de mercancías por distintos anchos de vía (Adif, 2020). La empresa Azvi, logró la homologación del eje de ancho variable para mercancías que permitiría por primera vez a los trenes de mercancías el cambio de ancho de forma automática en el paso por un cambiador.



**Ilustración 162: Pruebas del eje de ancho variable en mercancías (Fuente: Adif, 2020)**

Como se ha explicado en el apartado 4 “Autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona”, el Gobierno considera un proyecto prioritario-estratégico la autopista ferroviaria Zaragoza Plaza-Algeciras, conectando la plataforma logística más grande de Europa con el puerto que más mercancías mueve en España y en el mar Mediterráneo. De esta manera, se convertiría Zaragoza Plaza en el punto de intercambio de mercancías más importante del país.

#### 5.1.1.1. Circulaciones

La línea tiene una amplia densidad de circulaciones sobre todo de mercancías. La densidad y el tipo de las circulaciones existentes en el túnel se consideran factores relevantes para determinar la importancia del túnel y la magnitud del riesgo que representan las patologías detectadas, en el informe de inspección, para el servicio ferroviario. Además, se afirma en el informe que el riesgo que presenta el túnel está en relación con el tipo y las frecuencias de los servicios ferroviarios y con la importancia de las patologías existentes.

En el informe, se proporcionan un número estimado de las circulaciones medias expresadas en semanas, que han sido obtenidas o del CIRTRA 2015 o de datos facilitados por terceros para el tramo entre Ariza y Calatayud:

CIRCULACIONES MEDIAS SEMANA	
Circulaciones semanales	159
Modo Cercanías	0
Modo Regionales (MD)	47
Modo Larga Distancia	4
Modo Mercancías	104
Servicio	4

**Ilustración 163: Circulaciones semanales en el tramo (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**

La realidad de las circulaciones y de las necesidades imperiosas que imponen los gestores/administradores de infraestructuras, como el Adif, conllevan mantener el

tráfico ferroviario de forma continua siempre que sea posible. Esto es, realizar las intervenciones que sean necesarias en el túnel sin corte del tráfico ferroviario.

El impacto tanto económico como social que conlleva el corte de vía durante las labores de ampliación de gálibos, y sus consecuencias respecto a la imposibilidad de transportar pasajeros y mercancías por la línea durante este periodo, hacen inviable que se pueda ejecutar la mejora de la línea ferroviaria con corte del servicio ferroviario.

### 5.1.2. Estado actual del túnel

Para conocer el estado actual del túnel de La Romera, y realizar este TFM, se han utilizado diferentes estudios-documentación llevada a cabo para el mantenimiento de la infraestructura y los estudios realizados en el marco de la autopista ferroviaria Algeciras-Plaza, que han sido proporcionados por el Adif para la realización de este TFM:

- Informe inspección principal del túnel nº13 “De La Romera”. Línea 44 Madrid-Barcelona. Trayecto: Alhama de Aragón – Ricla. Redactado por las empresas Amberg Infraestructuras e Infraes para el Adif en Febrero de 2020 dentro del contrato “Inspección de túneles de la red convencional y de ancho métrico administradas por Adif. Lote 1. Subdirección de Operaciones Noreste. Nº2.15/28520.0290”.
- Estudio de gálibos realizado por la empresa ICYFSA en el año 2011 con láser escáner, llegando a obtener reportes de reflectividad, clearance y perfiles transversales con gálibo GB1, del lote 1 Sigüenza-Calatayud.
- Nube de puntos del mismo estudio de ICYFSA.

El túnel de La Romera, perteneciente a la línea 44 Madrid-Barcelona se sitúa en el tramo Alhama de Aragón-Ricla, entre los apeaderos de Bubierca y Ateca, cruzando bajo la autovía A-2, entre el P.K. 226+896 y el P.K. 227+167 de la línea.



**Ilustración 164: Ubicación del túnel de La Romera (Fuente: Elaboración propia)**

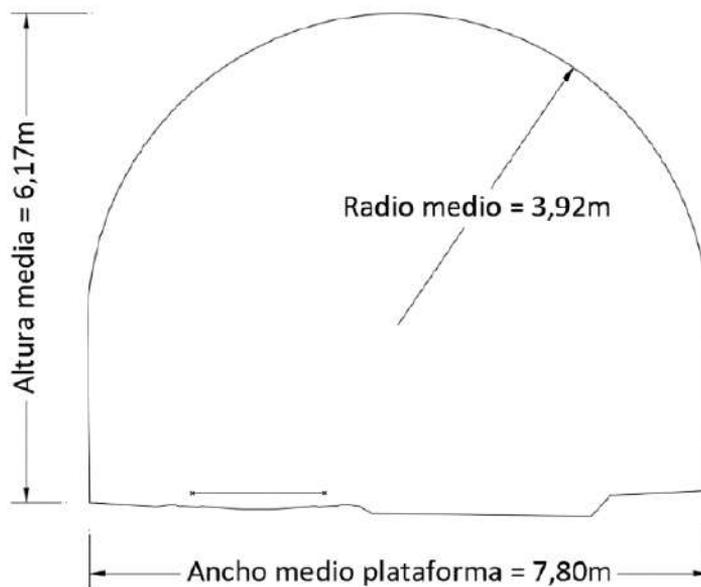
El túnel, de 271 metros de longitud, fue construido en el año 1864. La geometría del túnel en planta es una recta durante la longitud completa y tiene una pendiente continua del 8,6‰, a una cota de carril de 608 metros.

Se trata de un túnel de vía doble con hastiales rectos y bóveda en arco de medio punto (de radio 3,92 metros) con sostenimiento, en general, de sillería, aunque en algunos tramos han sido reforzados con hormigón proyectado y bulones, o revestidos con una lámina de impermeabilización o mortero. La altura media del túnel es de 6,17 metros.

La plataforma está formada por una losa de hormigón, tipo vía en placa, con traviesas de hormigón biblique. Tiene una cuneta central en la entrevía con arquetas de registro, así como canaletas laterales de drenaje longitudinal. La plataforma es de 7,80 metros de anchura.

El cableado de las instalaciones discurre por una canaleta prefabricada cubierta con tapas de plástico en el lado izquierdo de la plataforma y la electrificación dispone de vía doble con catenaria compensada.

El túnel carece de salidas de emergencia y de paseos de vía, aunque al tratarse de vía en placa, esta es fácilmente transitable. Además, estos deben contemplarse obligatoriamente solamente si los túneles tienen más de 500 metros, según las especificaciones de seguridad contempladas en la actual Norma ADIF Plataforma NAP 2-3-1.0+M1 "TÚNELES", que entró en vigor en julio de 2015 + M1 junio de 2018.



**Ilustración 165: Sección tipo Túnel de La Romera (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**

En cuanto a las instalaciones de seguridad y comunicaciones, el túnel dispone de Bloqueo Automático (BA) con Control de Tráfico Centralizado (CTC) y Mando Local (ML), estando la vía dotada de balizas ASFA y Tren-tierra.

El túnel cuenta con 11 nichos o refugios, 6 en el hastial derecho y 5 en el hastial izquierdo para favorecer la seguridad en caso de necesitar resguardo.

#### 5.1.2.1. Cartografía y topografía

En el año 2011, se realizó un encargo por parte de Adif para escanear este túnel, entre otros de la línea, mediante el uso de un equipo de auscultación de última tecnología.

Los resultados obtenidos de este estudio fueron:

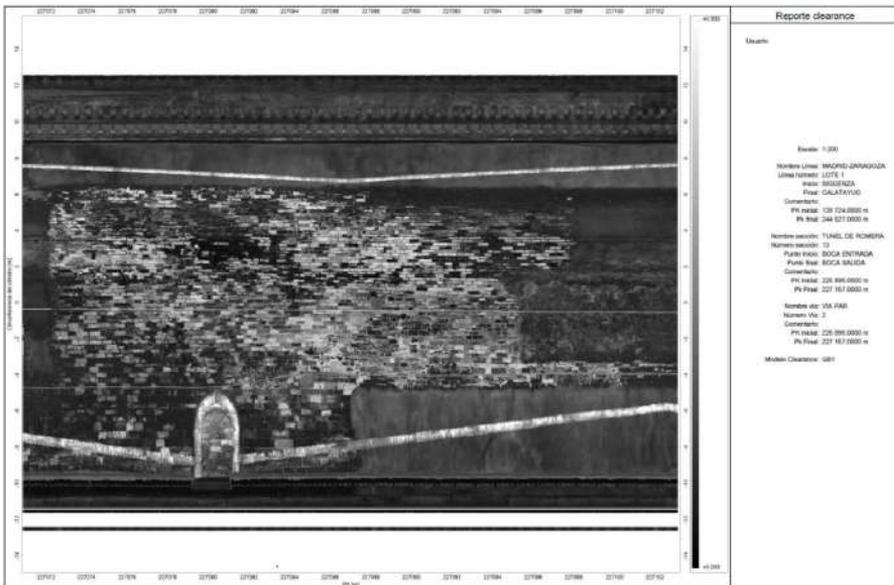
- Levantamiento topográfico 3D de la superficie del túnel (nube de puntos con 139 millones de puntos, con datos en X, Y, Z y reflectividad).
- Perfiles del túnel obtenidos a partir de estos datos.
- Canal Visible (grabación de imagen de la superficie con calidad fotográfica donde se pueden ver las actuaciones de refuerzo llevadas a cabo).
- Mapeado con escala de colores según la distancia relativa de cada punto del túnel con respecto al gálibo de referencia (gálibo GB1).
- Video animación del estudio de gálibos.

Estos datos fueron tomados mediante la tecnología GRP System Fx, una tecnología montada sobre la vía para la obtención de este tipo de datos, obteniendo unos rendimientos altos con respecto a otras técnicas tradicionales:

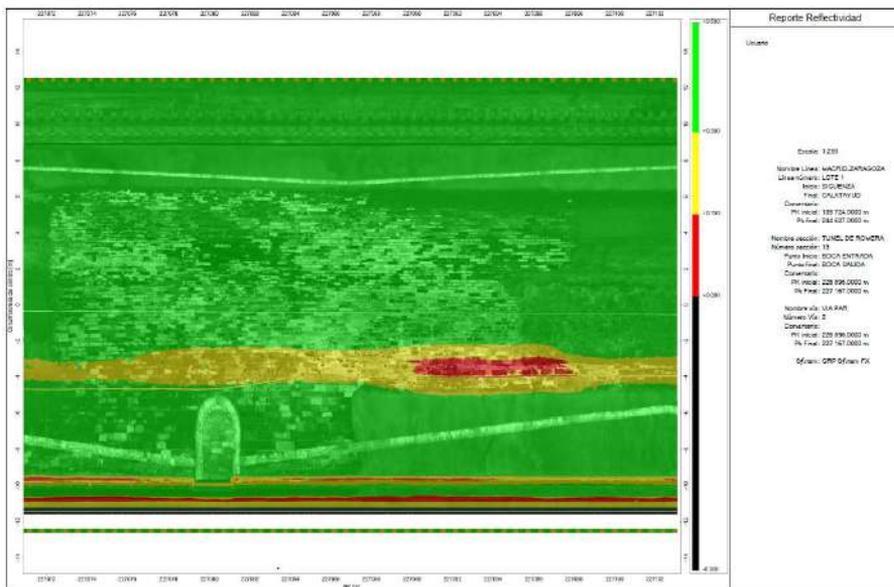


**Ilustración 166: Tecnología GRP System FX (Fuente: Amberg, 2020)**

En las siguientes imágenes se recogen, a modo de ejemplo, las imágenes captadas en este estudio realizado en el año 2011.

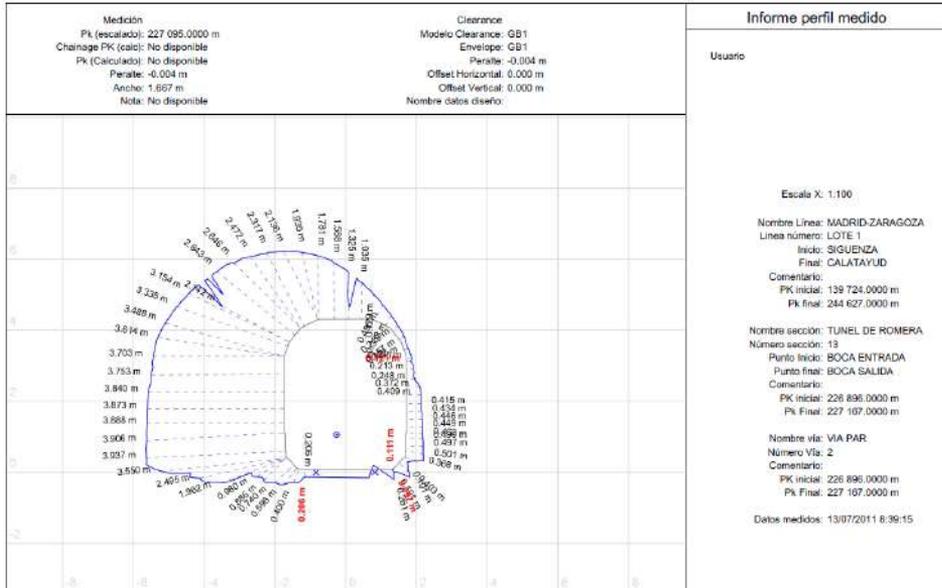


**Ilustración 167: Canal visible, imágenes del túnel La Romera (Fuente: ICYFSA, 2011)**



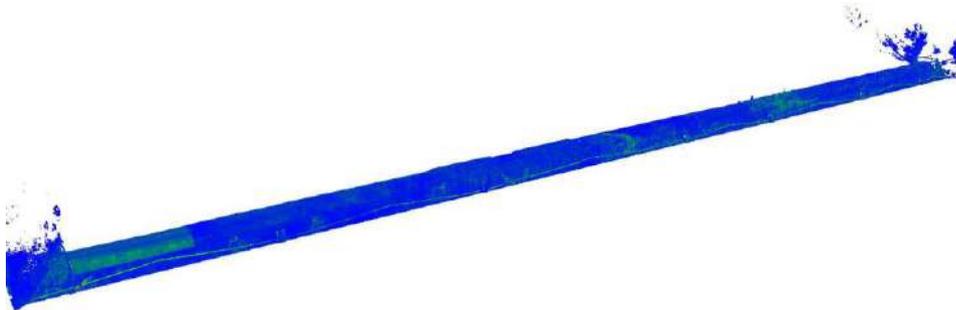
**Ilustración 168: Reporte de gálibos del túnel La Romera (Fuente: ICYFSA, 2011)**

La siguiente imagen muestra igualmente una sección transversal obtenida mediante el levantamiento topográfico 3D realizado en el túnel:



**Ilustración 169: Sección del túnel La Romera en el P.K. 227/095 (Fuente: ICYFSA, 2011)**

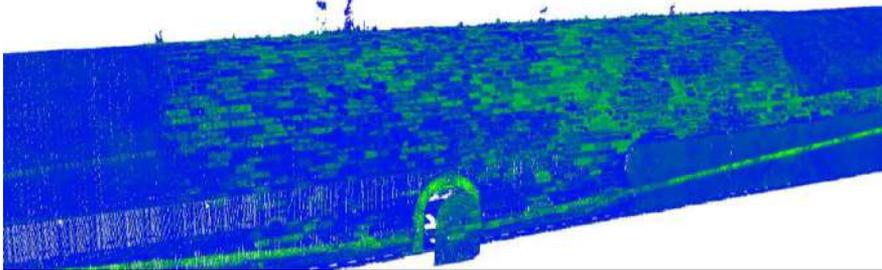
Además de estos datos presentados, y para la realización de este TFM, se ha procesado la nube de puntos obtenida de ese estudio realizado por ICYFSA, con 139 millones de puntos, con gran nivel de detalle y procesamiento 3D, tanto en emboquilles como en galería. El procesamiento de la nube de puntos (partiendo de un archivo .txt en bruto) se ha realizado con los softwares CloudCompare, Autodesk Recap e Istram, capaces de trabajar con tal cantidad de información.



**Ilustración 170: Nube de puntos del túnel La Romera (Fuente: Elaboración propia)**

También, cada punto que representa esta nube de puntos lleva asociado un valor de reflectividad del láser escáner que aporta información para la detección de patologías tales como fisuración, eflorescencias, humedades, distintos materiales, etc.

Como se va a poder observar más adelante, y en la siguiente imagen de muestra, las patologías observadas en el informe de inspección se reafirman con los datos revelados en las reflectividades de la nube de puntos. Además de observar que hay datos que sobrepasan la bóveda del túnel (datos que reflejan la pérdida de bloques de mampostería en la bóveda, al captar material más allá de la bóveda), o zonas con reparaciones, los bloques verdes muestran una reflectividad mayor, probablemente, por la presencia de agua que varía la humedad relativa en determinados bloques del revestimiento.



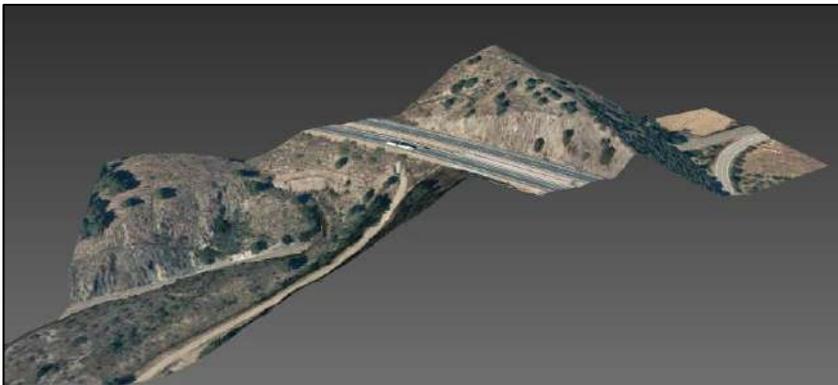
**Ilustración 171: Detalle reflectividad de la nube de puntos (Fuente: Elaboración propia)**

Para tener una referencia topográfica del ámbito de estudio, de los emboquilles y de la cobertera existente a lo largo del túnel, se ha descargado del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica la información altimétrica que representa el relieve de la zona.

Para ello, se ha descargado en especial los datos del LIDAR 2ª Cobertura con datos digitales de nubes de puntos 3D obtenidos con LIDAR, con color verdadero (RGB). Se ha procesado y limpiado la nube de puntos, en una franja de actuación, para evitar datos proporcionados por vegetación, utilizando el software Autodesk Recap y se ha procedido a la triangulación de los datos para obtener así una superficie topográfica con el software Istram.



**Ilustración 172: Nube de puntos LIDAR tratada (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 173: Superficie generada a partir de LIDAR, con ortofoto (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 174: Superficie topográfica, curvas de nivel y nube de puntos del túnel. Emboquille de entrada (Fuente: Elaboración propia)**

---

*Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona.  
Ampliación del túnel "La Romera" para el paso de material rodante compatible.*



**Ilustración 175: Superficie topográfica, curvas de nivel y nube de puntos del túnel. Emboquille de salida (Fuente: Elaboración propia)**

#### 5.1.2.2. Sostenimiento

El túnel presenta el sostenimiento original de sillería tanto en bóveda como hastiales, construido en el año 1864, que le llevan a presentar diversas patologías que se muestran más adelante.

Además, el túnel presenta tramos reforzados con hormigón proyectado y bulones, así como tramos revestidos con mortero o con lámina de impermeabilización. Puntualmente también se han observado pequeñas reparaciones con ladrillo en el interior de los refugios.

En general, el sostenimiento original del túnel se encuentra en un estado de deterioro relativamente avanzado, como se puede observar en la ilustración 82, aunque no se determinaron zonas con patologías de carácter grave.



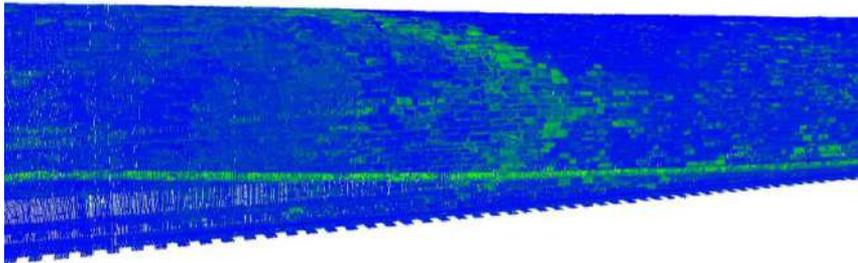
**Ilustración 176: Detalle del sostenimiento en sillería (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**

Además, el sostenimiento presenta zonas con restos de humedades y/o zonas mojadas por filtraciones activas que generalmente, se producen en las proximidades de las bocas. En los primeros metros de galería, el revestimiento de mortero se ha degradado, produciéndose pequeños desconchones.



**Ilustración 177: Restos de humedades y áreas mojadas de filtraciones en el hastial izquierdo P.K. 226+899 (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**

Estas humedades también pueden verse en la nube de puntos, como se puede observar en la siguiente ilustración.



**Ilustración 178: Humedades en la mampostería reflejada en la nube de puntos (Fuente: Elaboración propia)**

En el primer tramo de túnel cabe destacar que existen aparentes rozaduras de trenes en el hombro izquierdo de la bóveda entre el P.K. 226+905 y el P.K. 226+913, indicio de que existen problemas de gálibo en el túnel teniendo en cuenta las circulaciones actuales y su material rodante actual.

En cuanto al estado de los bloques de sostenimiento, el túnel presenta bastantes áreas donde la sillería se encuentra erosionada. En las zonas donde la erosión es más severa, se han llegado a desprender fragmentos de bloques o incluso algunos bloques enteros, generando oquedades de cierta entidad. Este deterioro puede venir inducido por la presencia de humedad en el túnel, generando un lavado de finos en el trasdós del sostenimiento y/o de las propias juntas de unión entre bloques que termina con la pérdida de material (patología común en este tipo de túneles tan antiguos y con revestimiento de mampostería).



**Ilustración 179: Detalles de las oquedades producidas por el desprendimiento de varias piezas P.K. 227+078 (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**



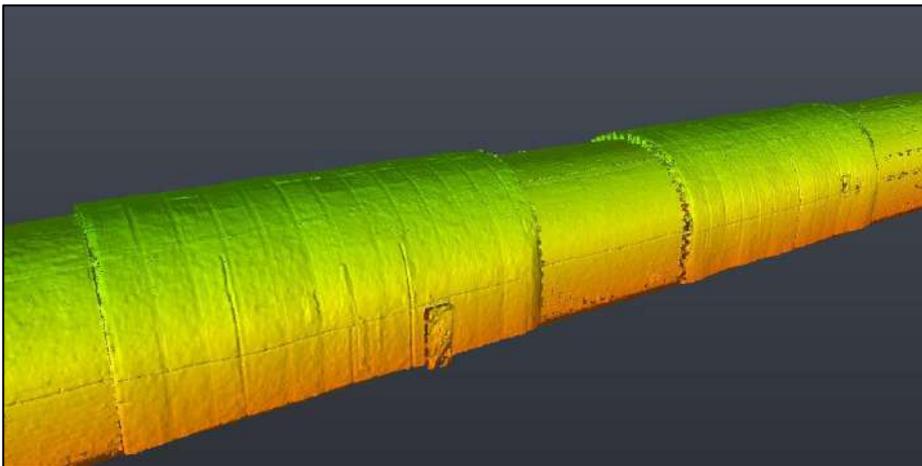
**Ilustración 180: Detalle de los fragmentos desprendido sobre la plataforma. P.K. 227+070 (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**

A lo largo de la galería hay varias zonas de la bóveda y los hastiales reforzados con hormigón proyectado. Además, en el tramo final, se han cosido con bulones los arranques de la bóveda, tanto en el hastial derecho como en el hastial izquierdo.



**Ilustración 181: Zonas de hormigón proyectado en bóveda y hastiales (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**

En la siguiente imagen puede verse el cambio de sección en dos tramos reforzados:



**Ilustración 182: Tramos reforzados del túnel con sección ampliada (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 183: Línea de bulones en hastial izquierdo (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**

De hecho, incluso en las zonas reparadas con hormigón proyectado y bulones, así como tramos revestidos con mortero o con lámina de impermeabilización, se tiene inventariado una clara falta de recubrimiento en la capa de hormigón, apareciendo fisuras o quedando la armadura al descubierto y en algunos casos propiciando su oxidación. En las siguientes imágenes, puede observarse tanto el acero descubierto y oxidado, como las zonas donde el escaso espesor proyectado dan evidencia de la existencia de esta armadura.



**Ilustración 184: Detalle de área de armadura oxidada al descubierto P.K. 226+975 (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**



**Ilustración 185: Detalle de la falta de recubrimiento P.K. 226+980 (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**

#### 5.1.2.3. Impermeabilización y drenaje

La plataforma presenta una cuneta central en la entrevía con desagües y arquetas de registro cada ciertos metros, de modo que debe discurrir un sistema de drenaje oculto bajo la plataforma. En ambos lados de la plataforma, existen canaletas de hormigón ejecutado in situ que recogen las filtraciones que escurren por los hastiales. Particularmente en los primeros metros próximos a la boca de entrada, también existen varios drenes conectados al pie del hastial que desembocan en dicha canaleta.



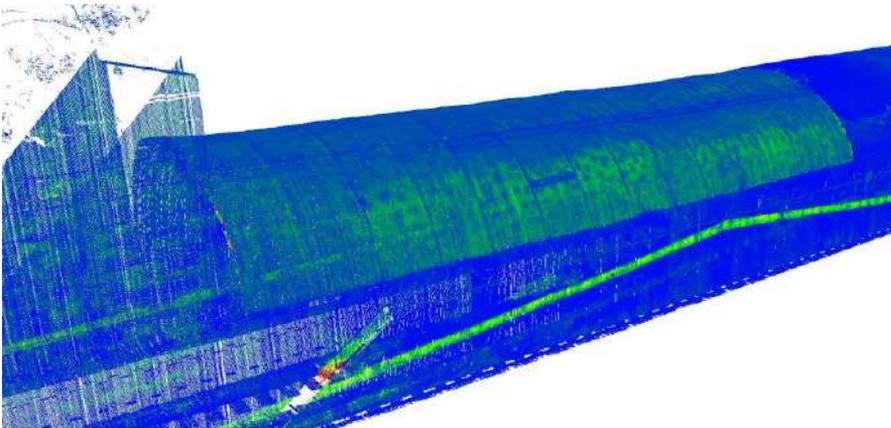
**Ilustración 186: Drenes en el pie del hastial izquierdo (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**

También, se describe que, en el primer tramo de galería, la bóveda se encuentra revestida con lámina de impermeabilización, mientras que los hastiales se encuentran revestidos con mortero.



**Ilustración 187: Primer tramo del túnel (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**

Esta lámina de impermeabilización también se puede observar en la nube de puntos, ilustración siguiente, dada las diferencias en la reflectividad que tiene la lámina con respecto a los bloques de mampostería.



**Ilustración 188: Lámina de impermeabilización en la nube de puntos (Fuente: Elaboración propia)**

Esta impermeabilización tiene, en dos puntos del hombro de la bóveda, quemada o fundida la lámina. Apparentemente esto se debe a un conato de incendio provocado por

un arco eléctrico proveniente del sistema de electrificación, que no llegó a más. Esto alude a problemas con el gálibo eléctrico en el túnel.



**Ilustración 189: Detalle del tramo de lámina fundida en el hombro izquierdo (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**

Del mismo modo que el túnel presenta rozaduras en los bloques de sillería, la lámina de impermeabilización también presenta zonas parcialmente desgarrada aparentemente por el resultado de posibles “enganchones” del tren con esta lámina, evidenciando de nuevo problema de gálibo.

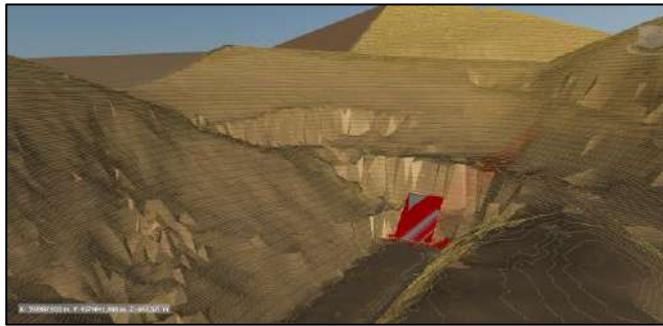


**Ilustración 190: Detalle de la lámina desgarrada por rozaduras en el hombro izquierdo (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**

#### 5.1.2.4. Emboquilles

Tanto la boca de entrada como la boca de salida presentan una sección transversal con hastiales rectos y bóveda en arco análoga al tramo de galería. Ambos emboquilles presentan un frontal vertical de sillería, con un pequeño murete en coronación a modo de imposta y se encuentran enclavadas entre aletas verticales de sillería.

Particularmente, la boca de entrada está muy encajada, presenta un muro de mampostería de gran altura en el talud frontal, y otro muro más retranqueado, que sirven de apoyo para la contención de las tierras del terraplén de la autovía A-2, a su cruce con la vía de ferrocarril.



**Ilustración 191: Modelo del emboquille de entrada (Fuente: Elaboración propia)**

Además, como particularidad a la otra boca del túnel, previo al emboquille de entrada, la línea ferroviaria tiene una sección en trinchera que, a priori, dificultaría la entrada de equipos para la labor de ampliación de gálibo.



**Ilustración 192: Emboquille de entrada (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**



**Ilustración 193: Emboquille de entrada y trinchera (Fuente: Google Earth, 2020)**

Como se puede observar en la siguiente ilustración, el emboquille que se encuentra bastante encajado, tiene como condicionantes dos muros de mampostería, la trinchera, el terraplén de un camino en la coronación de la trinchera y el terraplén de la autovía A-2, limitando las posibles actuaciones a acometer en el emboquille.



**Ilustración 194: Modelo del emboquille de entrada (Fuente: Elaboración propia)**

A diferencia del emboquille de entrada, en la boca de salida la línea ferroviaria discurre en paralelo a la carretera nacional N-11a, tanto en planta como en cota, favoreciendo los accesos de personal a la hora de ejecutar las labores de ampliación del túnel y de implantar una zona de instalaciones auxiliares relativamente amplia.

Aun así, la existencia de un camino que da acceso a las parcelas colindantes a la vía ferroviaria provoca que la cobertera que hay sobre el emboquille sea mínima, existiendo entonces un riesgo de inestabilidad a la hora de enfrentar la ampliación. Esta cobertera,

además, según se puede observar en la Ilustración 97, está formada por un suelo altamente alterado.

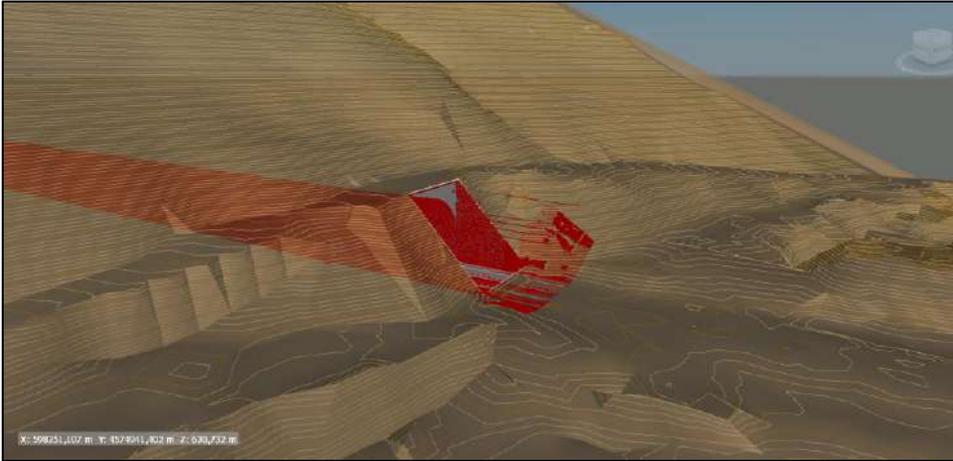


**Ilustración 195: Emboquille de salida (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)**



**Ilustración 196: Emboquille de salida (Fuente: Google Earth, 2020)**

En la imagen que se adjunta a continuación, puede verse como la cobertera existente en este emboquille es mínima. El camino se sitúa a cota de la imposta del emboquille, que contiene las tierras de este camino.



**Ilustración 197: Modelo del emboquille de salida (Fuente: Elaboración propia)**

#### 5.1.2.5. Resumen patologías

Las **patologías** detectadas, en el informe de inspección principal se recogen a continuación a modo de resumen en las siguientes tablas y planos descriptivos:

TRAMO / SECCIÓN	ZONA	LONGITUD DEL TRAMO EN METROS	DISTANCIA A BE EN METROS	REVESTIMIENTO	PATOLOGÍAS
P.K. 226+896	BÓVEDA Y HASTIALES	25	0	MORTERO - LÁMINA IMPERMEABILIZACIÓN	ÁREA HÚMEDA O EFLORESCENCIAS
P.K. 226+897	HASTIAL DERECHO	2	2	MORTERO - LÁMINA IMPERMEABILIZACIÓN	DESCONCHÓN
P.K. 226+898	HASTIAL IZQUIERDO	1	2	MORTERO - LÁMINA IMPERMEABILIZACIÓN	ÁREA MOJADA
P.K. 226+901	HASTIAL IZQUIERDO	3	5	MORTERO - LÁMINA IMPERMEABILIZACIÓN	ÁREA MOJADA
P.K. 226+902	HASTIAL DERECHO	1	6	MORTERO - LÁMINA IMPERMEABILIZACIÓN	DESCONCHÓN
P.K. 226+905	BÓVEDA	8	9	MORTERO - LÁMINA IMPERMEABILIZACIÓN	ROZADURA
P.K. 226+906	BÓVEDA	2	11	MORTERO - LÁMINA IMPERMEABILIZACIÓN	PATOLOGIA IMPERMEABILIZACIÓN
P.K. 226+908	BÓVEDA	2	13	MORTERO - LÁMINA IMPERMEABILIZACIÓN	PATOLOGIA IMPERMEABILIZACIÓN
P.K. 226+912	BÓVEDA	3	16	MORTERO - LÁMINA IMPERMEABILIZACIÓN	PATOLOGIA IMPERMEABILIZACIÓN
P.K. 226+922	HASTIAL IZQUIERDO	5	27	MORTERO - LÁMINA IMPERMEABILIZACIÓN - SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	ÁREA HÚMEDA O EFLORESCENCIAS
P.K. 226+925	BÓVEDA	8	29	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	ÁREA HÚMEDA O EFLORESCENCIAS
P.K. 226+932	BÓVEDA Y HASTIAL IZQUIERDO	12	36	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	ÁREA HÚMEDA O EFLORESCENCIAS
P.K. 226+934	BÓVEDA	5	38	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	ÁREA HÚMEDA O EFLORESCENCIAS
P.K. 226+943	BÓVEDA Y HASTIALES	42	48	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	ÁREA HÚMEDA O EFLORESCENCIAS
P.K. 226+947	BÓVEDA	0	51	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	ÁREA MOJADA
P.K. 226+949	HASTIAL DERECHO	2	53	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	ÁREA MOJADA
P.K. 226+971	BÓVEDA Y HASTIALES	14	76	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	RECUBRIMIENTO INSUICIENTE
P.K. 226+971	HASTIAL IZQUIERDO	6	76	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	FIGURA

TRAMO / SECCIÓN	ZONA	LONGITUD DEL TRAMO EN METROS	DISTANCIA A BE EN METROS	REVESTIMIENTO	PATOLOGÍAS
P.K. 226+972	BÓVEDA	4	77	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	CORROSIÓN
P.K. 226+972	BÓVEDA	5	76	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	ARMADURA DESCUBIERTO
P.K. 226+973	HASTIAL DERECHO	7	78	HORMIGÓN PROYECTADO	ÁREA MOJADA
P.K. 226+974	HASTIAL IZQUIERDO	5	78	HORMIGÓN PROYECTADO	ÁREA MOJADA
P.K. 226+985	HASTIAL IZQUIERDO	8	90	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	EROSIÓN
P.K. 226+989	HASTIAL DERECHO	4	94	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	EROSIÓN
P.K. 226+994	BÓVEDA Y HASTIAL DERECHO	14	98	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	ÁREA HÚMEDA O EFLORESCENCIAS
P.K. 227+008	BÓVEDA	12	113	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	RECUBRIMIENTO INSUFICIENTE
P.K. 227+009	BÓVEDA Y HASTIAL DERECHO	35	113	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO - LÍNEA BULONES	EROSIÓN
P.K. 227+009	BÓVEDA Y HASTIAL IZQUIERDO	7	113	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO	EROSIÓN
P.K. 227+053	BÓVEDA	16	158	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO - LÍNEA BULONES	RECUBRIMIENTO INSUFICIENTE
P.K. 227+053	BÓVEDA	18	158	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO - LÍNEA BULONES	RECUBRIMIENTO INSUFICIENTE
P.K. 227+072	BÓVEDA	9	177	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO - LÍNEA BULONES	DESPRENDIMIENTO
P.K. 227+072	BÓVEDA Y HASTIALES	25	176	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO - LÍNEA BULONES	EROSIÓN
P.K. 227+076	BÓVEDA	1	181	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO - LÍNEA BULONES	OCUEIDAD

TRAMO / SECCIÓN	ZONA	LONGITUD DEL TRAMO EN METROS	DISTANCIA A BE EN METROS	REVESTIMIENTO	PATOLOGÍAS
P.K. 227+078	BÓVEDA	1	182	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO - LÍNEA BULONES	OCUEIDAD
P.K. 227+111	BÓVEDA	50	215	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO - LÍNEA BULONES	EROSIÓN
P.K. 227+124	BÓVEDA	3	229	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO - LÍNEA BULONES	DESPRENDIMIENTO
P.K. 227+158	BÓVEDA Y HASTIALES	8	283	SILLERÍA - HORMIGÓN PROYECTADO - LÍNEA BULONES	ÁREA HÚMEDA O EFLORESCENCIAS

REVESTIMIENTOS	PATOLOGÍAS	SOLUCIONES
<p>Silería (S)</p> <p>Mampostería (M)</p> <p>Ladrillo (L)</p> <p>Piedra (P)</p> <p>Mortero (Mo)</p> <p>Hormigón in situ (Hi)</p> <p>Hormigón proyectado (Hpy)</p> <p>Hormigón prefabricado (Hpf)</p> <p>Hormigón de reparación (Hr)</p> <p>Lámina impermeabilizante (Li)</p> <p>Reforzo metálico (RM)</p> <p>Soporte metálico (SM)</p> <p>Pacsa embalsada (EM)</p> <p>Nicho (N)</p> <p>Bulón (B)</p> <p>Línea de bulones (LB)</p>	<p>Área húmeda o eflorescencia (AH)</p> <p>Área mojada (AM)</p> <p>Grietas</p> <p>Infiltración de agua</p> <p>Recubrimiento insuficiente (RI)</p> <p>Amenaza al descubrimiento (AD)</p> <p>Desprendimiento (Des)</p> <p>Rejuntado deteriorado (RD)</p> <p>Falta de rejuntado (FR)</p> <p>Descoloración (Dch)</p> <p>Hollín (Hh)</p> <p>Deformación (DF)</p> <p>Discontinuidades en roca viva (DR)</p> <p>Corrosión (C)</p> <p>Erosión (E)</p> <p>Quiebras (Qq)</p> <p>Patología en impermeabilización (PI)</p> <p>Piezas defectuosas (PD)</p> <p>Falta de pieza puntual (Fpp)</p> <p>Falta de piezas generalizadas (Fpg)</p> <p>Pieza desplazada (Pdp)</p> <p>Fisura (F)</p> <p>Grietas (G)</p> <p>Área de fisuras (AF)</p> <p>Balasto contaminado (BC)</p> <p>Rozadura (RT)</p>	<p>Reconstrucción con muro de hormigón y perfil metálico</p> <p>Impermeabilización (p.e. anclajes)</p> <p>Reforzo (malla, bulón, granta)</p> <p>Rejuntado</p> <p>Bulonado</p> <p>Regeneración del refuerzo</p> <p>Retiro de hueco con hormigón</p> <p>Recalce con granta</p> <p>Sellado de grietas, juntas, áreas, etc.</p> <p>Reconstrucción con perfiles metálicos, chapa laminada y granta</p> <p>Limpieza con chorro de agua</p> <p>Saneo y reconstrucción del revestimiento</p> <p>Reposición de balasto</p> <p>Reparación de la lámina de impermeabilización</p> <p>Estado, control o seguimiento de deformaciones</p>





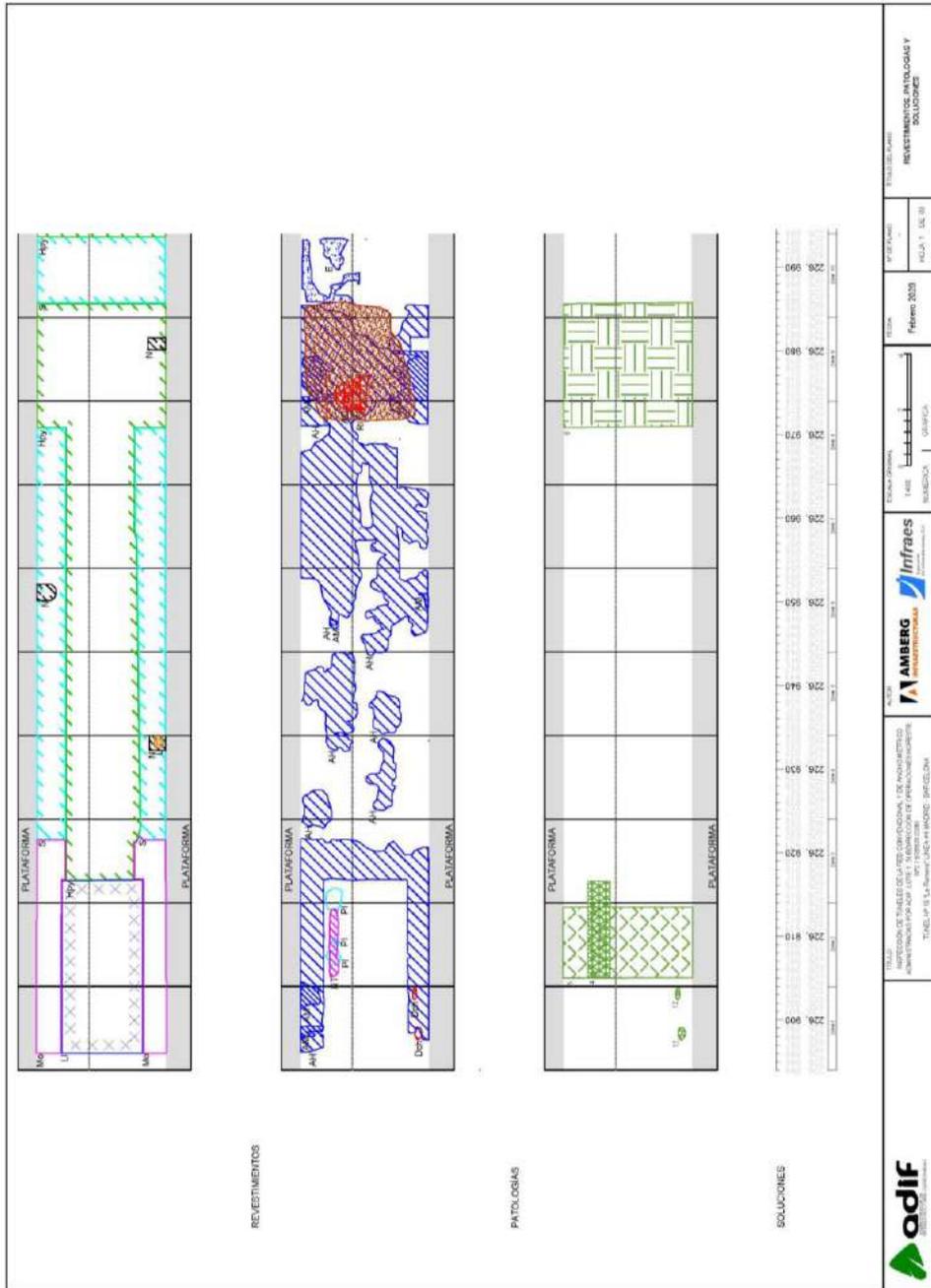

TÍTULO: PROYECTO DE OBRAS DE LA RED CONVENCIONAL, TER. ANCIENESTRUC. ADMINISTRACIÓN ESPECIAL LEÓN. SUBSECCIÓN DE OPERACIONES DEL TÚNEL DEL T. LA ROMERA. LINEA AL ANCLAJE. IMPACTO 2.04. FEBRERO 2020. ESCALA: 1:10.000.

FECHA DEL DISEÑO: FEBRERO 2020.

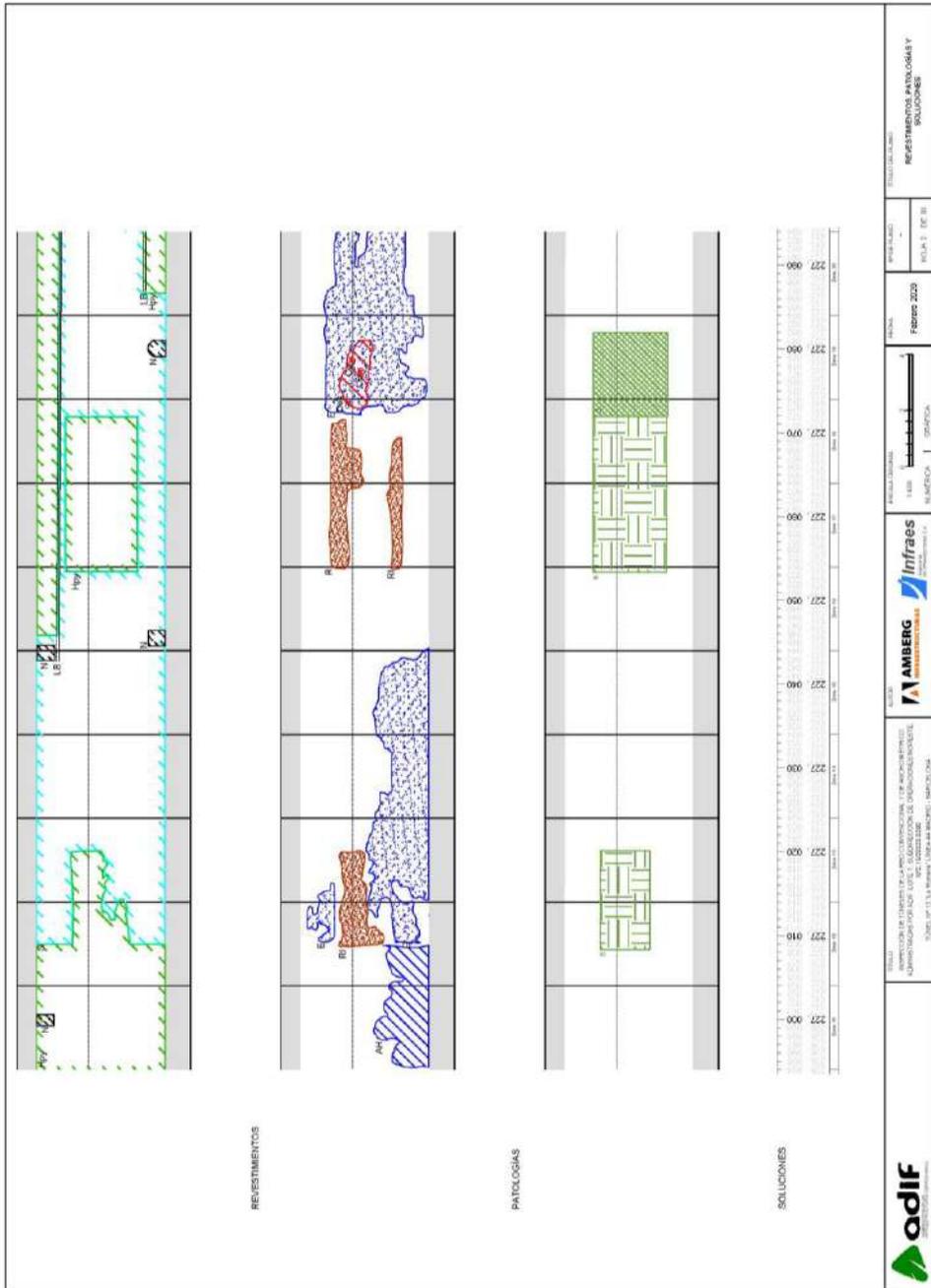
ELABORADO POR: [Nombre]

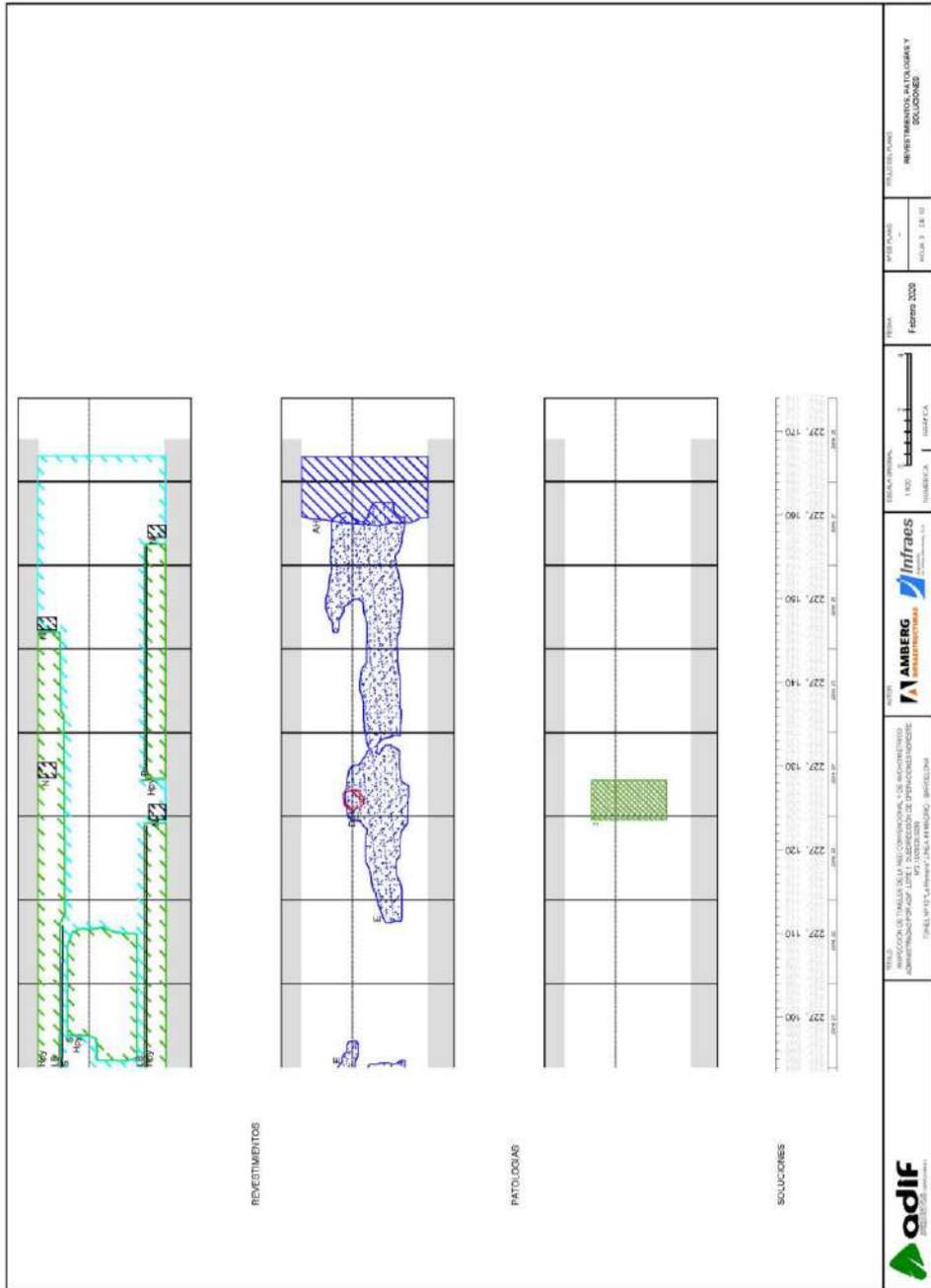
REVISADO POR: [Nombre]

APROBADO POR: [Nombre]



Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona.  
Ampliación del túnel "La Romera" para el paso de material rodante compatible.





	MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS Y EQUIPAMIENTO	FECHA: Febrero 2020	ESCALA: 1:500	TÍTULO:
	MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS Y EQUIPAMIENTO	FECHA: Febrero 2020	ESCALA: 1:500	TÍTULO:
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS Y EQUIPAMIENTO	FECHA: Febrero 2020	ESCALA: 1:500	TÍTULO:	TÍTULO:
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS Y EQUIPAMIENTO	FECHA: Febrero 2020	ESCALA: 1:500	TÍTULO:	TÍTULO:

### 5.1.2.6. Recomendaciones de mantenimiento

En el informe de inspección, se establecen unas recomendaciones de mantenimiento a realizar en el túnel siguiendo la clasificación del túnel de acuerdo con el procedimiento establecido por el Adif en este tipo de obras.

Para ello, utilizan el Índice de Deficiencia de Túneles (IDT), definido en la “Nota explicativa sobre el Índice de Deficiencia en Túneles” de Adif, en el cual se identifica, dentro de ciertos márgenes, si es preciso desarrollar un estudio más detallado y, como consecuencia, llevar a cabo una acción de mantenimiento.

En base al resultado obtenido, riesgo que tiene la infraestructura, es posible realizar una clasificación por líneas, y dentro de estas, una ordenación por grado de peligro de incidencias.

El IDT se calcula como suma de un conjunto de factores relacionados con los siguientes conceptos:

- Tipo de circulaciones.
- Datos topográficos.
- Tramos sin revestimiento.
- Presencia de agua.
- Presencia de patologías.
- Desprendimiento de piezas del revestimiento.
- Tipología del revestimiento.
- Tipología de los revestimientos de piedra.
- Datos geológicos-geotécnicos.

Cada factor se identifica como Riesgo Declarado (R.D.) o Riesgo Potencial (R.P.). Los riesgos declarados son aquellos riesgos que se aprecian a simple vista (deformaciones, grietas, desprendimientos, etc.), mientras que los riesgos potenciales son aquellos que aparecen de forma no declarada (fallas, presencias de embalses, espesor de montera, etc.).

Una vez hecha la asignación numérica a cada factor, se realizan las sumas parciales de los R.D. y R.P., tras lo cual, se procede a valorar separadamente los dos valores obtenidos. Finalmente, se calcula el índice IDT ponderando los dos valores anteriores. El nivel del riesgo del túnel se determina a partir del valor de la SUMA de los RIESGOS DECLARADOS, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

RIESGOS DECLARADOS				
$\sum RDi$	RIESGO		ORDEN DE INTERVENCIÓN	
$0 < \sum RDi < 50$	R-1	LEVE	1	LARGO PLAZO
$50 \leq \sum RDi < 65$	R-2	MEDIO	2	MEDIO PLAZO
$65 \leq \sum RDi < 100$	R-3	GRAVE	3	URGENTE / CORTO PLAZO
$100 < \sum RDi$	R-4	PELIGROSO	4	INMEDIATA

En el caso del túnel de La Romera, se obtienen los siguientes valores numéricos presentados en el informe de inspección:

*Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona.  
Ampliación del túnel “La Romera” para el paso de material rodante compatible.*



ÍNDICE DE DEFICIENCIA EN TÚNELES (IDT)	
CONCEPTO	VALOR
Suma parcial Riesgos Declarados ( $\Sigma RDI$ )	12
Suma parcial Riesgos Potenciales ( $\Sigma RPJ$ )	47,5
Factor K	0,9
Índice de Deficiencia del Túnel ( $IDT = \Sigma RDI + K \Sigma RPJ$ )	54,8

La suma parcial de Riesgos Declarados adopta un valor de 12, la suma parcial de Riesgos Potenciales adopta un valor de 47,5, el índice K toma un valor de 0,9 y, por lo tanto, el índice IDT resultante vale 54,8.

Según el criterio de evaluación de riesgos se concluye en el informe que, si bien el túnel necesita actuar en ciertos elementos estructuras del túnel, el riesgo como tal de posibles colapsos es leve.

Por tanto, estas propuestas de actuación vienen dadas por las siguientes conclusiones:

1. Humedades y filtraciones:

El túnel presenta varias zonas con restos de humedades y eflorescencias de escasa entidad, así como pequeñas áreas mojadas de filtraciones activas que generalmente, se producen en los primeros metros más próximos a ambas bocas, especialmente en la boca de entrada.

El informe recomienda vigilar su posible evolución por si se produjera un incremento notable de ingreso de agua que pudiera provocar el deterioro del sostenimiento o de los elementos metálicos de la superestructura.

En el caso en que dichas filtraciones aumentaran su caudal, sería necesario controlar y subsanar, de cara a la durabilidad del túnel, lo siguiente:

- a) El posible goteo sobre la plataforma y los trenes.
- b) El posible arrastre de finos.
- c) La posible formación de cavidades en el trasdós.

2. Rozaduras de trenes:

En el primer tramo de galería se localizaron aparentes rozaduras de trenes en el hombro izquierdo de la bóveda entre el P.K. 226+905 y el P.K. 226+913.

Para analizar la posible problemática con una falta de gálibo, el informe propone realizar un estudio de gálibos mediante el análisis de los datos obtenidos en la inspección con láser escáner, parte del objeto de este TFM.

3. Degradación de la sillería:

El túnel presenta bastantes áreas donde la sillería se encuentra erosionada. En las zonas donde la erosión es más severa, se han llegado a desprender fragmentos de bloques o incluso algunos bloques enteros, generando oquedades de cierta entidad.

En las zonas donde el sostenimiento de sillería se encuentre en un estado de erosión más avanzado, el informe recomienda estabilizar las piezas de sillería mediante un refuerzo interior a base de hormigón proyectado con mallazo.

#### 4. Recubrimiento insuficiente y patologías asociadas:

En las zonas reparadas se ha detectado una clara falta de recubrimiento en la capa de hormigón, apareciendo fisuras o quedando la armadura al descubierto y en algunos casos propiciado su oxidación.

Para evitar que el proceso de degradación siga deteriorando el refuerzo estructural, el informe recomienda regenerar el intradós del refuerzo mediante un saneo de la capa de hormigón actual, la limpieza y pasivado de la armadura existente, el suplemento de la misma en caso de que fuera pertinente y la aplicación de mortero de reparación R3 o R4 tixotrópico en una o varias capas, asegurando un recubrimiento mínimo de 4cm.

#### 5. Revestimientos degradados

Se han localizado dos puntos donde la lámina de impermeabilización se encuentra aparentemente fundida o chamuscada, además de una zona donde se observa parcialmente desgarrada.

En estas zonas donde la lámina se encuentra dañada, se propone reemplazar el revestimiento de impermeabilización por otro nuevo con tal de que pueda seguir cumpliendo su función.

No obstante, es necesario comprobar si la lámina actual cumple con la normativa en cuanto a los parámetros de resistencia al fuego. En caso de que no cumpliera, sería necesario reemplazar la totalidad de la lámina actualmente instalada.

Asimismo, en los primeros metros de galería, el revestimiento de mortero se ha degradado, produciéndose pequeños desconchones.

El informe recomienda sanear las zonas desconchadas o en mal estado y cubrir los huecos con mortero de reparación.

#### 6. Otros comentarios

El túnel carece de alumbrado de servicio y de emergencia y de paseos de vía, por lo que si fuera necesario evacuar el túnel se realizaría con ciertas dificultades, aunque de manera rápida, puesto que el túnel presenta vía en placa y escasa longitud (271m).

El resumen de propuestas que plantea el informe de inspección con el fin de que el túnel siga realizando su objetivo actual, y la durabilidad de la infraestructura no se vea comprometida es el siguiente:

TRAMO / SECCIÓN		ZONA	Longitud del tramo en metros	Distancia a B.E. en metros	PROPUESTA ACTUACIONES
P.K. 226+897	P.K. 226+899	HASTIAL DERECHO	2	1	SANEO Y RECONSTRUCCIÓN DEL REVESTIMIENTO
P.K. 226+902	P.K. 226+904	HASTIAL DERECHO	2	6	SANEO Y RECONSTRUCCIÓN DEL REVESTIMIENTO
P.K. 226+905	P.K. 226+913	BÓVEDA (HOMBRO IZQUIERDO)	8	9	ESTUDIO DE GÁLIBOS
P.K. 226+905	P.K. 226+916	BÓVEDA (HOMBRO IZQUIERDO)	11	9	REPARACIÓN O REPOSICIÓN DE LA LÁMINA DE IMPERMEABILIZACIÓN
P.K. 226+971	P.K. 226+985	BÓVEDA Y HASTIALES	15	26	REGENERACIÓN DEL REFUERZO
P.K. 227+008	P.K. 227+020	BÓVEDA	12	112	REGENERACIÓN DEL REFUERZO
P.K. 227+050	P.K. 227+072	BÓVEDA	19	197	REGENERACIÓN DEL REFUERZO
P.K. 227+072	P.K. 227+082	BÓVEDA	10	176	REFUERZO CON HORMIÓN PROYECTADO Y MALLAZO
P.K. 227+120	P.K. 227+128	BÓVEDA	5	227	REFUERZO CON HORMIÓN PROYECTADO Y MALLAZO

### 5.1.3. Limitaciones de gálibo. Necesidad de ampliación

Como se ha podido observar en las patologías descritas en el apartado anterior, el túnel presenta problemas de gálibos que conllevan rozaduras de trenes en la bóveda del túnel, desgarros de la lámina de impermeabilización e incluso indicios de comienzos de incendios producidos por el arco eléctrico de la catenaria.

Con el cambio de uso planteado con el fin de albergar una autopista ferroviaria, es necesario comprobar que el gálibo que requiere este tipo de servicio sea posible en la infraestructura actual, y de no ser así, plantear las soluciones requeridas. Además, se toma como punto de partida la posibilidad de que pueda dar servicio cualquier tipo de tecnología de autopistas ferroviarias, no limitando así cualquier uso futuro.

Para ello, y siguiendo el punto 3.5.2 *Galibo a implantar* en una autopista ferroviaria, se toman los siguientes puntos de partida/decisiones de partida, para realizar dicha comprobación en las limitaciones de gálibo:

- Se utiliza el **gálibo uniforme** obtenido para una envolvente de parámetros (radios, peraltes, etc.) suficientemente desfavorables para la línea, de forma que este gálibo pueda ser implantado para cualquier túnel de la línea.

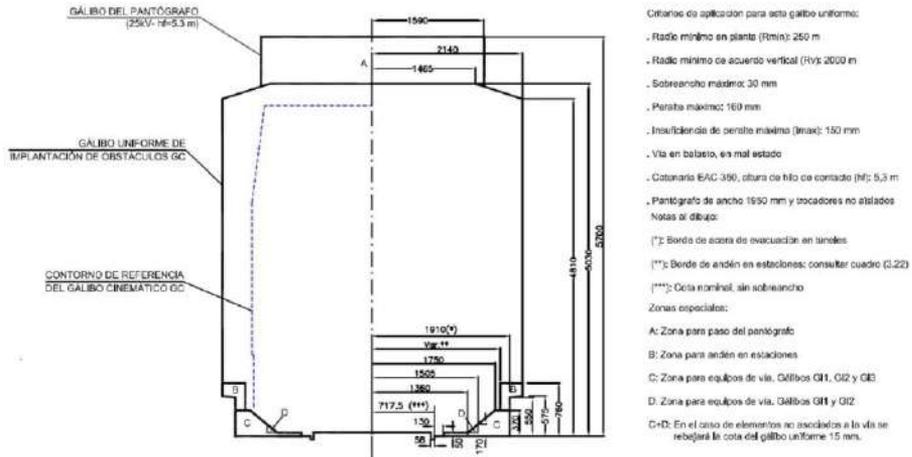
Se utiliza el gálibo uniforme planteado en la Instrucción de gálibos.

- Se analizan las limitaciones de gálibo para una situación a corto plazo teniendo en cuenta el paso de material rodante de autopista ferroviaria compatible con el ancho vía de ancho ibérico. Como se ha dicho anteriormente, no está previsto, de momento, el cambio de ancho de vía en un futuro en esta línea de estudio. Aun así, siendo parte de un corredor de mercancías planteado dentro de la Red Transeuropea y para potenciar la línea como autopista ferroviaria, a futuro, se debería plantear el cambio de ancho de vía al internacional (o al menos implementar el tercer hilo como fase intermedia), si se quiere ganar competitividad.

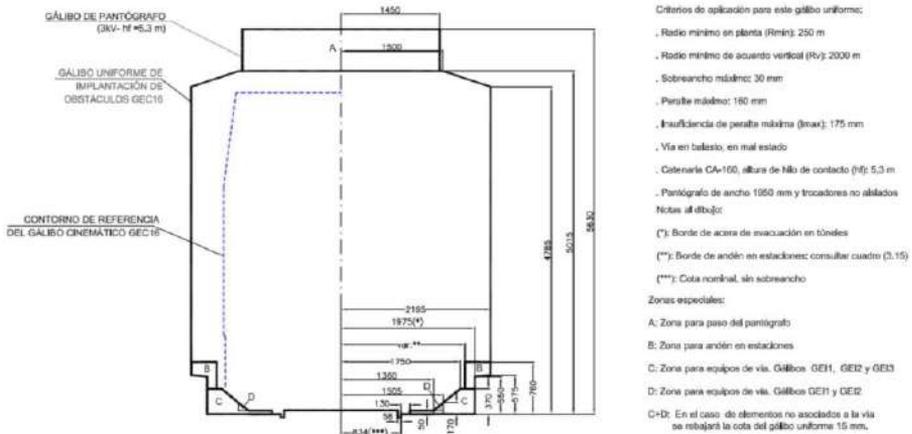
Para evitar que, a futuro, se tenga que intervenir de nuevo en el túnel para permitir el paso de material rodante en otro ancho de vía, y únicamente sea

necesario modificar la vía, se analizan las limitaciones de gálibo para tres situaciones y tres situaciones de gálibos.

- Corto plazo: **GEC16**
- Medio plazo: **GEC16 + GC**
- Largo plazo: **GC**



**Ilustración 198: Gálibo nominal GC (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015).**



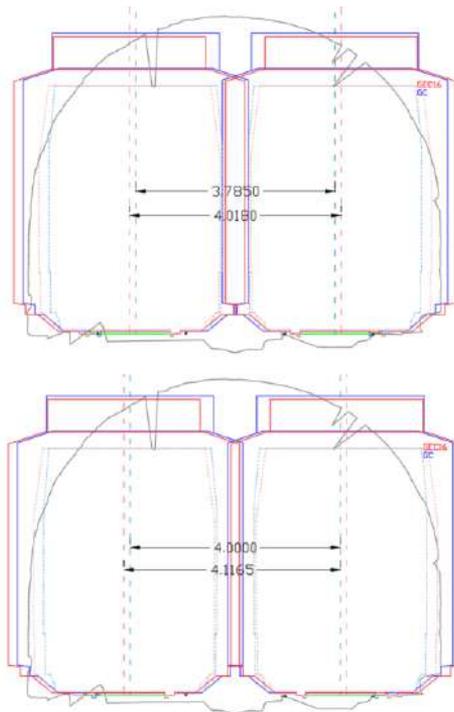
**Ilustración 199: Gálibo nominal GEC16 (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015).**

- Se mantiene la cota de la rasante actual de la vía para no influir en el resto de la infraestructura.

- El entreeje mínimo uniforme a implantar en las vías del túnel viene determinado por la distancia en la cual el gálibo nominal interfiere con el contorno de referencia cinemático. En este caso se tiene que:
  - Para implantar un gálibo GEC16, con un ancho uniforme de 2,195 m y contorno de referencia cinemático de 1,720 m, el entreeje mínimo debe ser de 3,915 m.
  - Para implantar un gálibo GC, con un ancho uniforme de 2,14 m y contorno de referencia cinemático de 1,645 m, el entreeje mínimo debe ser de 3,785 m.

Por lo tanto, manteniendo entonces un entreeje de 3,785 m para ancho internacional y un entreeje de 4,018 m para ancho ibérico, podrían darse las tres situaciones futuras comentadas con anterioridad.

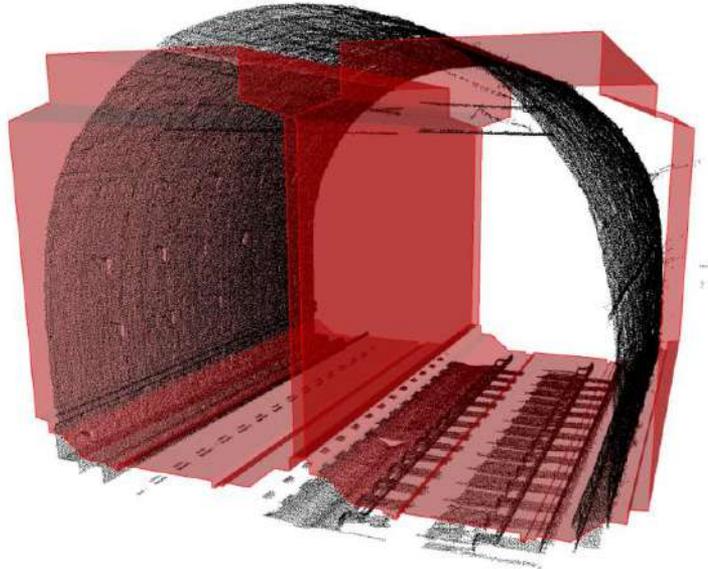
Aun así, por posibles situaciones futuras y no acometer la ampliación a situaciones mínimas, se decide dar un entreeje mayor, de 4,000 metros para ancho internacional y 4,116 para ancho ibérico.



**Ilustración 200: Aplicación de gálibos GEC16 y GC en el túnel actual (Fuente: Elaboración propia)**

Como se puede observar en la ilustración anterior, y en la siguiente, al implantar el gálibo GEC16 y/o GC, con el entreeje definido, la limitación de gálibo existente en el túnel es clara.

Es necesario ampliar el túnel si se requiere utilizar la línea ferroviaria descrita para el uso como autopista ferroviaria, con los criterios adoptados en este TFM.



**Ilustración 201: Sección 3D con la limitación de gálibo en la nube de puntos (Fuente: Elaboración propia)**

## 5.2. Contexto geotécnico

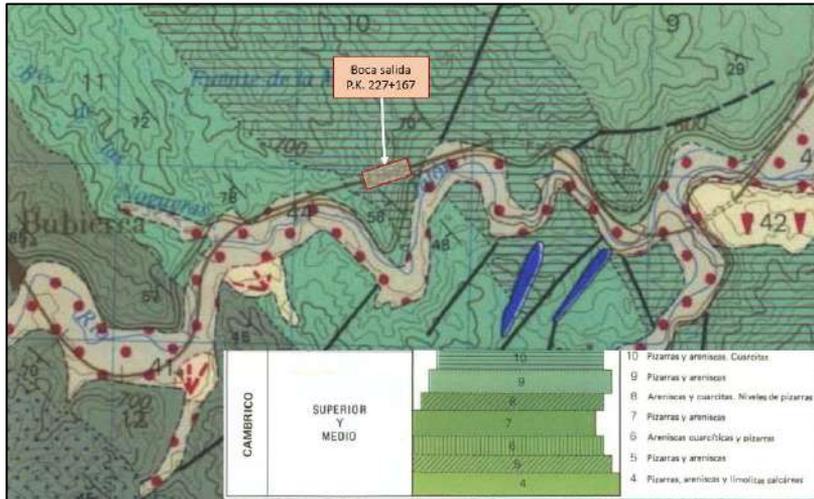
La traza del túnel discurre a través de los materiales cámbricos cartografiados como **“Pizarras y Areniscas. Cuarцитas”**, en una zona de estribaciones montañosas. En especial, el túnel atraviesa la siguiente formación geológica:

- Fm. Almunia, Miembro D. Pizarras y areniscas con niveles pizarrosos: Se caracteriza por el predominio de las pizarras de colores negruzcos, sobre las areniscas y cuarcitas. La composición de las areniscas es parecida a la de otros miembros de la Fm. Almunia.

Su potencia se evalúa alrededor de los 600m.

Según la Hoja geológica nº40 denominada **“Daroca”** del mapa geotécnico general a escala 1:200.000 el entorno del túnel está clasificado dentro de la categoría **“II Formas de relieve muy acusadas”**. Incluye un conjunto de terrenos paleozoicos. En su litología predominan las pizarras y cuarcitas, siendo más o menos abundantes las areniscas, grauvacas, dolomías, calizas y margas. Sus materiales son, en general, impermeables,

aunque existen zonas con cierta permeabilidad debido a la fisuración. El drenaje es favorable, en su mayor parte por escorrentía superficial. La capacidad de carga es alta y los asentos nulos.

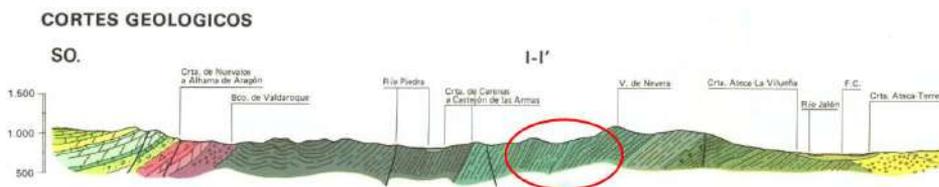


**Ilustración 202: Mapa geológico de la zona de estudio, Hoja 437 Ateca (Fuente: Instituto Geológico y Minero de España, 2020)**

Por consiguiente, el túnel está excavado a través de una unidad de roca de edad anterior al carbonífero.

Los materiales presentan una orientación estratigráfica según una dirección general NO-SE (Directriz Ibérica) con vergencias al SO cartografiadas en 58° de buzamiento en el entorno del túnel. La galería del túnel no experimenta un cambio relevante en el buzamiento de la estratificación y, según la cartografía, aunque hay una falla cercana a la traza del túnel, está fuera del ámbito de la traza del túnel.

La capacidad de carga de estos materiales es alta y los asentos son nulos.



**Ilustración 203: Corte geológico de la zona (Fuente: Instituto Geológico y Minero de España, 2020)**

– Puntos de observación

Existen ciertos puntos en los alrededores del túnel, accesibles por carretera, en los cuales debidos a los desmontes realizados en la traza puede observarse la roca cartografiada en la hoja geológica (pizarras con intercalaciones de areniscas y cuarcitas). Además de observar la roca, puede verse que presenta la orientación estratigráfica descrita en la bibliografía.



**Ilustración 204: Puntos de observación (Fuente: Elaboración propia)**

De esta manera, se han visualizado tres puntos de observación (PO) interesantes que dan a conocer el material existente en las inmediaciones al túnel:

- PO-1: En la carretera N-IIa junto a la trinchera de acceso al emboquille de entrada.
- PO-2: Desmonte de la autovía A-2, en la misma ubicación en planta que el túnel, pero a cota de autovía (cota mayor).
- PO-3: En la carretera N-IIa junto al emboquille de salida.



**Ilustración 205: PO1, imagen 1 (Fuente: Google Earth, 2020)**



**Ilustración 206: PO1, imagen 2 (Fuente: Google Earth, 2020)**



**Ilustración 207: PO2, imagen 1 (Fuente: Google Earth, 2020)**



**Ilustración 208: PO2, imagen 2 (Fuente: Google Earth, 2020)**



**Ilustración 209: PO2, imagen 3 (Fuente: Google Earth, 2020)**



**Ilustración 210: PO3, imagen 1 (Fuente: Google Earth, 2020)**



**Ilustración 211: PO3, imagen 2 (Fuente: Google Earth, 2020)**

---

*Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona.  
Ampliación del túnel "La Romera" para el paso de material rodante compatible.*

Aun así, dado que no se dispone de más información del material por el que discurre el túnel, dada la antigüedad de esta construcción y la imposibilidad de hacer prospecciones para este TFM, no es posible caracterizar la roca de manera geomecánica para poder determinar las actuaciones a acometer en la ampliación.

A tan solo 900 metros, al sur, del túnel de La Romera se encuentra el túnel de Dehesillas, de la línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona, entre el P.K. 203/437 y el P.K. 204/297, localizado entre Alhama de Aragón y Castejón de las Armas. Este túnel fue construido por la empresa Dragados en el lote de los túneles de Bubierca, Dehesillas y Castejón.

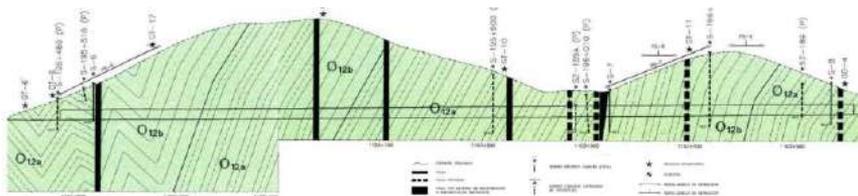
Dada la cercanía del túnel de Dehesillas y el trazado que tiene el AVE en esa localización, el tramo presenta la misma formación geológica, orientación estratigráfica y dirección del eje del túnel que en el túnel de La Romera.

Es por ello por lo que, para poder hacer una clasificación geomecánica, se decide adoptar la información geotécnica y estudiar los condicionantes existentes durante la construcción de este túnel, cogiendo de referencia los parámetros geomecánicos de la roca, y las problemáticas encontradas en los siguientes documentos proporcionados por Adif Alta Velocidad y Geocisa para poder realizar este TFM:

- Anejo Nº4 Geología y Geotecnia del As-Built del Proyecto Constructivo: Línea de Alta velocidad Madrid-Barcelona Frontera Francesa. Tramo: Madrid-Zaragoza. Subtramo: XI. Plataforma.
- Artículo redactado por Geocisa con título “Hundimiento del túnel de Dehesillas. Recuperación con inyecciones”, tras las labores realizadas para la actuación de emergencia debido al derrumbamiento ocurrido durante las obras de ejecución del túnel.

En el túnel de Dehesillas se han diferenciado dos miembros en función del tipo de litología predominante en cada uno de ellos:

- Miembro O12a: secuencias de bancos de pizarras grises o verdosas y areniscas, variando sus porcentajes entre el 20% y el 50% respectivamente, con bancos cuarcíticos en un porcentaje del 20%.
- Miembro O12b: bancos de cuarcitas del orden del 70% sobre pizarras (20%) y areniscas (10%).



**Ilustración 212: Perfil geológico de Dehesillas (Fuente: Adif, 2001)**



- Barton (1974) en el que se obtiene un índice numérico Q de calidad del macizo rocoso, que varía entre 0 y 100.

#### Grupo 4

Este grupo lo constituyen las formaciones mayoritariamente pizarrosas (con cierta presencia de areniscas), cartografiadas en la traza también del túnel de La Romera. Con frecuencia las pizarras y areniscas se encuentran interestratificadas. Se trata de una litología texturalmente muy anisótropa, aunque de los ensayos se resuelve que no se trata de una roca geotécnicamente anisótropa.

Parámetro	Valor	Referencia
Densidad aparente	$\gamma = 2,71 \text{ T/m}^3$	Ensayos campaña precedente
Resistencia a compresión simple	$\sigma_c = 33,65 \text{ MPa}$	Ensayos campaña geotécnica y campaña precedente
Resistencia a tracción	$\sigma_T = 6,68 \text{ MPa}$	Ensayos campaña geotécnica
Módulo de elasticidad	$E_{roca} = 36551 \text{ MPa}$	Ensayos campaña geotécnica
Coefficiente de Poisson	$\mu = 0,22$	Ensayos campaña geotécnica
Abrasividad Cerehar	$AB = 2,8$	Ensayos campaña geotécnica
Índice Schimazek	$F = 0,18 \text{ kN/m}$	Ensayos campaña geotécnica
Durabilidad Slake	$D = 98,91 \%$	Ensayos campaña geotécnica

**Ilustración 214: Parámetros adoptados. Grupo 4 (Fuente: Adif, 2001)**

Las características geotécnicas modales que se describen para estos materiales son:

- Grado de meteorización I – II.
- RQD, Rock Quality Designation (Deere, 1963), entre 50 y 75 % (calidad media), con un espaciamiento de las discontinuidades entre 2 y 0,06 m.
- Resistencia a compresión simple variable entre 11 y 55 MPa.
- Parámetros  $m_i$  y  $s_i$  (Hoek & Brown):  $m_i = 9$  y  $s_i = 1$ .

CLASIFICACIÓN	VALORACIÓN	
<b>RMR<sub>BÁSICO</sub></b>	(1): Resist. Comp. Simple $\Rightarrow$ 55 - 11 MPa	4 - 2
	(2): RQD $\Rightarrow$ 50 - 75 %	13
	(3): Espaciado juntas $\Rightarrow$ Espaciado entre 2 y 0,06 m	15 - 8
	(4): Condición juntas $\Rightarrow$ De ligeramente meteorizadas a continuas y meteorizadas.	25 - 10
	(5): Agua $\Rightarrow$ Seco en general, con humedades puntuales.	15 - 10
	RMR <sub>BÁSICO</sub> = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) $\Rightarrow$ Máximo: <b>72</b> , Mínimo: <b>43</b>	
<b>Q</b>	RQD = 50 - 75 %	
	$J_n$ (Fracturación) = 9 - 6 (De tres familias a dos y alguna junta ocasional)	
	$J_r$ (Rugosidad) = 1,5 - 1 (Plana)	
	$J_a$ (Alteración) = 1 - 3 (De juntas manchadas a rellenos arenoso-arcillosos)	
	$J_w$ (Agua) = 1 (De excavación seca o fluencias poco importantes)	
	SRF (Estado tensional) = 2,5 - 1 (De tensiones pequeñas a medias)	
	Q = (RQD · $J_n$ · $J_r$ · $J_a$ ) / ( $J_w$ · SRF) $\Rightarrow$ Máximo: <b>18,75</b> ; Mínimo: <b>0,75</b>	

**Ilustración 215: Clasificación geomecánica. Grupo 4 (Fuente: Adif, 2001)**

## Grupo 5

Este grupo lo constituyen las formaciones mayoritariamente areniscosas y/o cuarcíticas. Esta litología se presenta con frecuencia entre capa y capa hiladas pizarrosas que disminuyen las características geotécnicas del macizo.

Parámetro	Valor	Referencia
Densidad aparente	$\gamma = 2,66 \text{ T/m}^3$	Ensayos campaña precedente
Resistencia a compresión simple	$\sigma_C = 48 \text{ MPa}$	Ensayos campaña geotécnica y campaña precedente
Resistencia a tracción	$\sigma_T = 12,47 \text{ MPa}$	Ensayos campaña geotécnica
Módulo de elasticidad	$E_{\text{roca}} = 20099 \text{ MPa}$	Ensayos campaña geotécnica
Coefficiente de Poisson	$\mu = 0,23$	Ensayos campaña geotécnica
Durabilidad Slake	$D = 99,06 \%$	Ensayos campaña geotécnica

**Ilustración 216: Parámetros adoptados. Grupo 5 (Fuente: Adif, 2001)**

Las características geotécnicas modales que se describen para estos materiales son:

- Grado de meteorización I – II.
- RQD entre 50 y 90 % (calidad media-buena), con un espaciamiento de las discontinuidades entre 2 y 0,6 m.
- Resistencia a compresión simple variable entre 110 y 15 MPa.
- Parámetros  $m_i$  y  $s_i$  (Hoek & Brown):  $m_i = 19$  y  $s_i = 1$ .

CLASIFICACIÓN	VALORACIÓN	
<b>RMR<sub>BÁSICO</sub></b>	(1): Resist. Comp. Simple $\Rightarrow$ 110 - 15 MPa	7 - 2
	(2): RQD $\Rightarrow$ 50 - 90 %	17 - 13
	(3): Espaciado juntas $\Rightarrow$ Espaciado entre 2 y 0,6 m	15
	(4): Condición juntas $\Rightarrow$ De ligeramente meteorizadas a presencia de hiladas pizarrosas continuas y meteorizadas.	25 - 5
	(5): Agua $\Rightarrow$ Seco en general, con humedades puntuales.	15 - 10
	RMR <sub>BÁSICO</sub> = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) $\Rightarrow$ Máximo: <b>79</b> , Mínimo: <b>45</b>	
<b>Q</b>	RQD = 50 - 90 %	
	$J_n$ (Fracturación) = 9 - 6 (De tres familias a dos y alguna junta ocasional)	
	$J_r$ (Rugosidad) = 1,5 - 1 (Plana)	
	$J_a$ (Alteración) = 1 - 3 ( De juntas manchadas a rellenos arenoso-arcillosos)	
	$J_w$ (Agua) = 1 (De excavación seca o flujencias poco importante)	
	SRF (Estado tensional) = 2,5 - 1 (De tensiones pequeñas a medias)	
	Q = (RQD · $J_r$ · $J_w$ ) / ( $J_n$ · $J_a$ · SRF) $\Rightarrow$ Máximo: <b>22,5</b> ; Mínimo: <b>0,75</b>	

**Ilustración 217: Clasificación geomecánica. Grupo 5 (Fuente: Adif, 2001)**

Además, en el anejo estudiado se establece un total de cinco tipos de macizo rocoso (del tramo objeto de dicho informe) denominados Tipo I, II, III, IV y V. La descripción y caracterización de cada uno de los tipos de macizo se muestra en la siguiente tabla:

TIPO DE MACIZO	I	II	III	IV	V
<i>Litología, grupo geotécnico y estructura</i>	• Areniscas y/o cuarcitas sanas y masivas, sin alteración (grado I): <i>G5</i> • Dolomías sanas y masivas, sin alteración ni cristalización: <i>G2</i>	• Areniscas y/o cuarcitas sanas en capas decimétricas, sin alteración: <i>G3</i> • Formaciones pizarrosas sanas, en capas decimétricas: <i>G4</i> • Argilitas, limolitas y areniscas rojas sanas y masivas, en capas selladas: <i>G3</i>	• Argilitas, limolitas y areniscas rojas sanas en capas de centimétricas a decimétricas: <i>G3</i> • Formaciones dolomíticas, areniscosas y pizarrosas moderadamente fisuradas y con grado de alteración III: <i>G2, G4 y G5</i>	• Macizo de cualquier litología fuertemente fisurado y alterado: <i>G2, G3, G4 y G5</i>	• Brechas y milonitos de falla: <i>G6</i> .
<i>Presencia de agua</i>	Escasa o nula	Macizo seco en general con presencia de humedades puntuales muy localizadas.	Humedades y ligeros goteos que no inestabilizan el macizo	Humedades y filtraciones que pueden inestabilizar el macizo	Humedades y filtraciones que pueden inestabilizar el macizo
<i>Comportamiento</i>	Macizo sólido y estable antes de sostener.	Macizo estable antes de sostener, con formación de pequeñas cuñas o bloques en hastiales.	Macizo ligeramente inestable antes de sostener, con formaciones de cuñas y bloques de tamaño medio en clave y hastiales	Macizo inestable antes de sostener, con caída de material en clave, hastiales y frente.	Macizo muy inestable antes de sostener, con caída de material en clave, hastiales y frente.
<i>RMR</i>	> 65	65 - 50	50 - 35	< 35	< 35

**Ilustración 218: Tipo de macizo rocoso según grupos geotécnicos (Fuente: Adif, 2001)**

Tras la construcción del túnel de Dehesillas, se analizó la calidad del macizo rocoso esperada con respecto a la real. El tipo de terreno más abundante ha sido el Tipo-III, con un RMR entre 35 y 50, con un porcentaje mayor del esperado.

**Túnel de Las Dehesillas**

	PREVISTO	REAL
TIPO I	3	2
TIPO II	20	16
TIPO III	45	57
TIPO IV	22	18
TIPO V	4	0
TIPO BOQ.	6	7
	100%	100%

**Ilustración 219: Comparación geotecnia prevista vs real (Fuente: Adif, 2001)**

Para la ampliación del túnel de La Romera, se tiene en cuenta realizar su ampliación desde la boca de salida (situación más favorable en todos los sentidos), con una orientación relativa de las juntas con rumbo relativamente perpendicular al eje del túnel, buzamientos de 58º y excavación hacia buzamiento, teniendo así una condición muy favorable para las labores de ampliación. Teniendo estas condiciones, no es necesario ajustar los valores para corregir el RMR.

Además, es importante recordar que, aunque en el Túnel de Dehesillas, sí se han observado pizarras brechificadas por la existencia de una banda tectonizada, en el túnel de La Romera no existe esta falla que empeoren las características geomecánicas de la roca. Es por ello por lo que, podría llegarse a la conclusión de que, en el túnel de La Romera, el porcentaje de macizo tipo II cogería más peso en lugar del tipo IV.

De esta manera, siguiendo el criterio de Bieniawski para la clasificación geomecánica de las rocas, se concluye que la roca existente en la traza del túnel tendría, mayoritariamente, un **RMR Medio Clase III** ( $41 < \text{RMR} < 60$ ) en la mayor parte de su recorrido. Aun así, tanto para el emboquille de entrada como para el emboquille de salida, se considera un RMR Malo-Muy Malo Clase IV-V debido a que el material en

cobertera está altamente alterado y se estima que una gran parte de esta esté formada por suelos.

### 5.2.1. Riesgos geotécnicos y condicionantes

La mayoría de las patologías que se han descrito con anterioridad, en el túnel de La Romera, son las asociadas a la presencia de agua: áreas húmedas o eflorescencias, áreas mojadas, desconchones de la gunita, corrosión de las armaduras, erosión de las juntas de la mampostería o de los propios bloques por arrastre de finos, desprendimiento de los bloques y oquedades.

Si bien el material descrito tiene una tendencia a la impermeabilidad, como sucede en el Túnel de Dehesillas, las juntas pueden llevar a filtraciones de agua que dan como resultado las humedades que presenta el interior del túnel. Aun así, aunque hay presencia de humedad, no se determina que la presencia de agua sea lo suficientemente elevada como para ser un problema a tener en cuenta durante la ejecución de las obras, no hay presencia de flujos de agua ni goteos que pongan en riesgo la integridad del túnel.

Se debe presentar especial atención al estado del revestimiento existente en el momento de la ampliación en el caso de que el arrastre de finos haya llegado a generar oquedades o cavidades en el trasdós de la mampostería que pongan en riesgo el proceso de ejecución.

Además, la presencia de mayor humedad ocurre en las zonas de emboquilles donde la cobertera es menor y el material puede estar más alterado, a diferencia del resto de la galería.

A priori no existe riesgo de formación de techos planos debido al rumbo y buzamiento que tiene el material con respecto al túnel. Tampoco se prevén deformaciones ni asientos especiales de la formación geológica atravesada. Las pizarras que no están altamente fracturadas y las areniscas son competentes en materia de seguridad.

No se han encontrado patologías relacionadas con el comportamiento geotécnico del material en cuanto a su resistencia y/o deformación. El túnel se comporta bien estructuralmente en los condicionantes geotécnicos existentes.

Uno de los condicionantes más importantes que se pueden analizar en la ampliación del túnel de La Romera son los emboquilles, tanto el de entrada como el de salida. Las actividades de ampliación de emboquilles son trabajos que, dada su naturaleza, son especialmente sensibles. Si bien, para realizar la ampliación del emboquille de salida los riesgos geotécnicos se pueden reducir de una forma más sencilla eligiendo un método constructivo u otro (el emboquille tiene una cobertera escasa en sus primeros metros), el emboquille de entrada tiene unas características diferentes y difíciles de solventar.

El emboquille de entrada, muy encajado en trinchera, tiene dos muros de contención (en dos niveles superiores diferentes) de mampostería/sillería que no presentan un estado óptimo y que contienen el pie del terraplén de la autovía A-2. Además de ampliar

en sección el túnel, es necesario ampliar la trinchera para albergar esta sección y la cobertera sobre clave de túnel es escasa en sus primeros metros. Cualquier deformación en el emboquille durante su ampliación supondría una deformación de estos muros y, por tanto, una deformación en el terraplén que podría acarrear consecuencias en la autovía A-2, de gran importancia, pudiendo incluso llevar al colapso el terraplén. Es por esto por lo que se deberán plantear tratamientos especiales en este emboquille para minimizar el riesgo.

Durante la construcción del túnel de alta velocidad de Dehesillas, la obra sufrió un derrumbamiento de unos 100 metros de longitud, debido a la presencia de una falla contigua a uno de los hastiales (Geocisa, 2001). La empresa Geocisa participó en la obra de emergencia para recuperar el túnel en el que se ejecutó un tratamiento de inyección de consolidación y un posterior paraguas de sostenimiento mediante micropilotes subhorizontales. Tras las inyecciones realizadas desde la ladera para la consolidación de la zona afectada, se volvió a excavar la sección mediante 8 paraguas de micropilotes de 15 metros de longitud con una tubería TM-80 de 114,3 x 9 mm. Una vez excavada la sección de nuevo, se decidió ejecutar inyecciones de contacto, desde la clave del túnel y laterales, comprobándose su eficacia mediante la técnica de Georadar.

Si bien el túnel de La Romera presenta la misma formación geológica que el túnel de Dehesillas, en la ubicación del túnel objeto de este TFM no hay presencia de una falla cartografiada en la traza del túnel. Aun así, viendo la problemática que puede conllevar en un túnel de similares características y sus riesgos frente a la seguridad en un túnel en el cual se llevará la ampliación manteniendo el servicio ferroviario, se deberá prestar especial cuidado a la posible existencia de material brechificado. En caso de que se observe su existencia se cambiará el sostenimiento previsto en el túnel, mejorando las condiciones y reduciendo los riesgos de derrumbamiento.



**Ilustración 220: Paraguas de micropilotes en la obra de emergencia (Fuente: Geocisa, 2001)**

## 5.3. Ampliación del túnel

### 5.3.1. Análisis de la solución

En los siguientes apartados se aborda las características que se plantean para el túnel proyectado tales como sección tipo de la galería, emboquilles, excavabilidad, sostenimiento, revestimiento, métodos constructivos, etc., que definen la obra en su totalidad, partiendo del contexto general y sus condicionantes, el estado actual del túnel y el contexto geotécnico en el que se enmarca la traza del túnel.

#### 5.3.1.1. Contexto normativo

Para dar solución a las necesidades descritas con anterioridad y cumplir los requisitos mínimos que establece la normativa en vigor, se ha utilizado la siguiente normativa de referencia en la ejecución de este tipo de proyectos. Se ha seguido esta normativa principalmente para establecer los criterios de diseño desde el punto de vista de funcionalidad y seguridad, criterios y aspectos importantes que enfocan la solución a llevar a cabo:

- **Especificación Técnica de Seguridad (ETI)** siguiendo el REGLAMENTO (UE) Nº1303/2014 DE LA COMISIÓN de 18 de noviembre de 2014 sobre la especificación técnica de interoperabilidad relativa a la “seguridad en los túneles ferroviarios” del sistema ferroviario de la Unión Europea, y sus modificaciones.
- **Norma Adif Plataforma “Túneles”**. NAP 2-3-1.0+M1.
- **Instrucción Ferroviaria de Gálibos**. Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, redactado por el Ministerio de Fomento y la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria en el año 2015.
  - Además de la “Nota aclaratoria sobre la aplicación de la Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la Instrucción Ferroviaria de Gálibos”, redactado por el Ministerio de Fomento y la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria en el año 2019.
- **Normas UNE** redactadas por el comité técnico CTN 25 Aplicaciones ferroviarias, cuya secretaría desempeña CETREN, en mayo de 2017:
  - UNE-EN 15273-1:2013+A1. Aplicaciones ferroviarias. Gálibos. Parte 1: Generalidades. Reglas comunes para infraestructuras y material rodante.
  - UNE-EN 15273-2:2013+A1. Aplicaciones ferroviarias. Gálibos. Parte 2: Gálibos del material rodante.
  - UNE-EN 15273-3:2013+A1. Aplicaciones ferroviarias. Gálibos. Parte 3: Gálibo de implantación de obstáculos.



**Ilustración 221: Normativa específica de túneles ferroviarios (NAP y ETI) (Fuente: ADIF, 2020)**

### 5.3.1.2. Afección al tráfico ferroviario

El factor que condiciona en mayor medida el método constructivo es la necesidad de minimizar las afecciones al servicio ferroviario, de tal forma que durante el desarrollo de este TFM se han analizado diversos escenarios complementarios para definir el procedimiento constructivo y situaciones provisionales asumidas finalmente en esta actuación anteponiendo tanto la no afección al tráfico ferroviario (siendo un requisito indispensable), así como la seguridad en todo el proceso de ejecución de la ampliación del túnel.

Teniendo en consideración que se trata de un túnel de escasa longitud, se han tratado de maximizar las actividades cuya ejecución puede abordarse en bandas de mantenimiento o sin afección al tráfico ferroviario, como son los emboquilles de ambos lados. A este respecto, conviene precisar las dificultades de acceso y ocupación de zonas de instalaciones auxiliares de obra que existen en esta infraestructura (en especial en el emboquille de entrada), circunstancia que penaliza notablemente los rendimientos constructivos alcanzables en las mencionadas ventanas de corte temporal.

### 5.3.1.3. Sección tipo

Partiendo de las necesidades que requiere el nuevo uso del túnel, del cumplimiento de normativa y del contexto geotécnico, se han tomado las siguientes decisiones para definir la sección tipo del túnel:

- Tras el análisis del estado actual del túnel, no se observa riesgo de inestabilidad ni grandes problemas o patologías de daños que reflejen un fallo estructural del túnel. Es por ello por lo que se ha creído conveniente ampliar la sección del túnel manteniendo la sección tipo actual de bóveda de medio punto y hastiales rectos que tiene en la actualidad, manteniendo su geometría, pero ampliada.

Se ha optado entonces por datar a la sección final ampliada con una geometría abovedada para favorecer el trabajo por forma del túnel, con hastiales rectos que también maximizan los anchos útiles de los pasillos laterales utilizados durante la construcción para efectuar el movimiento de tierras.

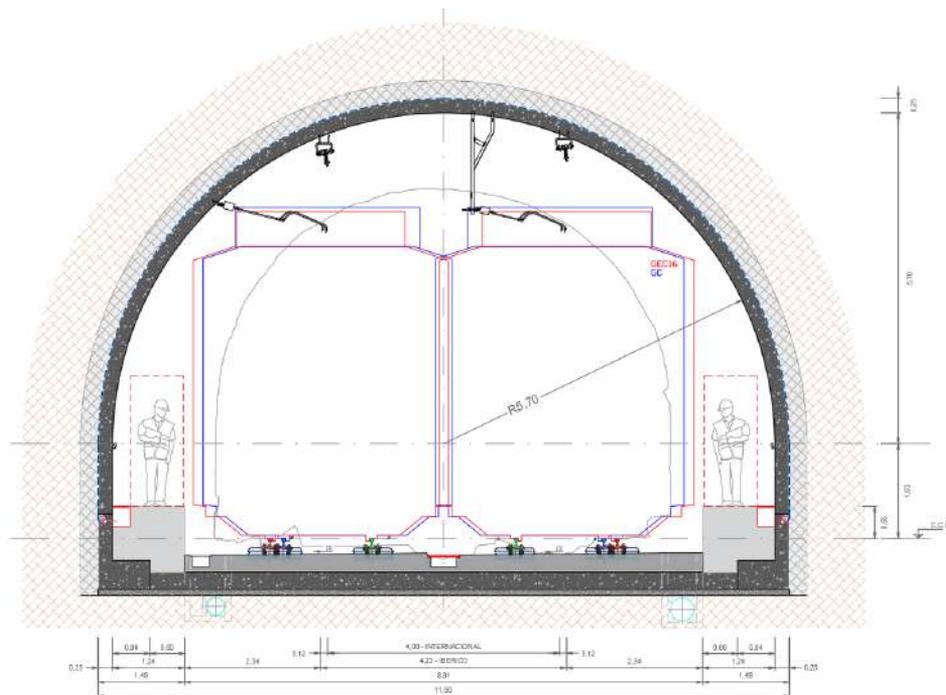
- Aunque por requerimientos normativos, de la NAP, derivados de la longitud del túnel no resulta imprescindible la disposición de pasillos de evacuación, se ha optado por mantener una sección libre y funcional coherente con las dimensiones operativas impuestas por el proceso constructivo, permitiendo disponer aceras a ambos lados del túnel que aumentan la seguridad en caso de necesidad de evacuación. Además, se considera una buena práctica disponer de estos pasillos de evacuación con aceras, aunque por la longitud del túnel no sea obligatorio su colocación.
- La sección final queda definida por un arco circular de radio interior (útil) de 5,70 metros en bóveda, con hastiales rectos determinando un ancho útil de 11,40 metros. La altura sobre carril de la clave del túnel se establece en 7,33 metros.
- Se mantiene la cota de carril existente para reducir así las actuaciones en la traza.
- Dadas las condiciones actuales del túnel, se opta por circunscribir la sección ampliada en la actual para así, rehacer la sección tipo del túnel.
- Por ser la velocidad prevista para la explotación de la línea en este tramo inferior a 200 km/h no se establecen limitaciones en la definición de la sección libre de los túneles por criterios aerodinámicos.
- En cada acera se ha dispuesto de un canal de desagüe de recogida de las aguas de infiltración drenadas por el túnel, de dimensiones mínimas de 0,30 x 0,35 metros. Ambos elementos de drenaje permiten el transporte de caudales interceptados por el túnel al exterior mediante un colector de recogida.
- La sección se cierra con una losa inferior que sirve como elemento de protección a largo plazo y como soporte de la vía en placa.
- Se ha dispuesto un sistema separativo que permita drenar cualquier vertido contaminante que pueda producirse en la plataforma ferroviaria, para lo cual se ha dispuesto una cuneta de captación y un colector de transporte que permite el vertido de dichos caudales a un depósito estanco ubicado en el

exterior del túnel. Las conexiones entre cuneta y colector se materializan mediante arquetas dispuestas cada 50 metros.

Las características de la sección se han establecido para permitir un correcto funcionamiento del túnel durante la etapa de servicio y en consonancia con los condicionantes que existen para efectuar la ampliación y adaptación del túnel.

Además, como se ha materializado anteriormente en este TFM, esta sección tipo cumple con los requisitos establecidos para ancho ibérico, ancho mixto o ancho internacional únicamente acometiendo las actuaciones necesarias en vía a futuro, sin tener que acometer actuaciones en el resto de la sección tipo del túnel ampliado, mejorando así su adaptación en función de las circunstancias futuras y esperadas.

A continuación, se incluye la sección tipo utilizada en el túnel:



**Ilustración 222: Sección tipo ampliada (Fuente: Elaboración propia)**

#### 5.3.1.4. Sostenimiento

Durante la ejecución de las obras de ampliación se van a alterar las condiciones tenso-deformacionales del túnel y su entorno conforme se lleve a cabo la ampliación de la sección, lo que requerirá la inclusión de un soporte provisional, denominado sostenimiento, cuyo papel será estabilizar la excavación a corto plazo, impidiendo cualquier fenómeno de inestabilidad, o movimientos en su entorno, incompatibles con

los servicios prestados e infraestructuras que existen en sus proximidades (como por ejemplo la autovía A-2).

A la hora de establecer el sostenimiento requerido en la ampliación, el desconocimiento de las características geomecánicas y tenso-deformacionales reales del terreno excavado, a pesar de disponer de parámetros geotécnicos, y la complejidad de representación fiel y real del comportamiento del terreno en un modelo matemático para que sea realmente útil, originan que cualquier diseño sea una simplificación de la realidad, con una incertidumbre que se cotejará en obra a la hora de la ampliación.

A partir de los datos geotécnicos disponibles en este TFM se ha realizado por tanto una estimación en base a experiencia de diversos autores, correlacionando el RMR con el tipo de sostenimiento a emplear. Para ello se ha utilizado el método de diseño por clasificaciones geomecánicas, basados en distintos métodos empíricos que aportan un prediseño del sostenimiento a instalar.

Para definir el sostenimiento en este TFM se ha utilizado la clasificación de Bieniawski (1989) y las recomendaciones para el sostenimiento del profesor Romana (2000), adecuando dichas clasificaciones a las condiciones del Túnel de La Romera.

CLASE	RMR	EXCAVACIÓN (PASE)	SOSTENIMIENTO		
			BULONES (Longitud en m)	HORMIGÓN PROYECTADO	CERCHAS METÁLICAS
I Muy buena	81-100	Sección completa (3 m)	Ocasionalmente	No necesario	No necesario
II Buena	61-80	Sección completa (1-1.5 m)	Localmente en clave. L = 3 m espaciados a 2.5 m con mallazo ocasional	50 mm en clave donde sea necesario	No necesario
III Media	41-60	Avance y destroza (1.5-3 m en avance) Sostenimiento empezado en el frente y terminado a 10 m del frente	Sistemáticamente en clave y hastial. L = 4 m espaciadas 1.5 a 2.0 m Mallazo en clave.	50-100 mm en clave 30 mm en hastiales	No necesario
IV Mala	21-40	Avance y destroza (1.0-1.5 m en avance) Sostenimiento empezado simultáneamente con la excavación (y hasta) 10 m del frente	Sistemáticamente en clave y hastiales. L = 4 a 5 m, espaciados a 1.0-1.5 m, con mallazo	100-150 mm en clave 100 mm en hastiales	Ligeras a medias espaciadas a 1.5 m donde sea necesario
V Muy mala	1-20	Galerías múltiples. (0.5-1.5 m en avance) Sostenimiento simultáneo con la excavación. Hormigón proyectado inmediatamente después de la voladura.	Sistemáticamente en clave y hastiales. L = 5-6 m espaciados a 1.0-1.5 m con mallazo. Bulonar la contrabóveda	150-200 mm en clave 150 mm en hastiales 50 mm en el frente	Medias a pesadas espaciadas a 0.75 m con placas de acero y longarinas donde sea necesario. Contrabóveda

**Ilustración 223: Sostenimiento según Bieniawski (Fuente: Bieniawski, 1989)**

En este apartado, se describen los elementos de sostenimiento planteados en cada tramo del túnel, atendiendo a la clasificación geomecánica del tramo.

Los elementos de sostenimiento previstos para la ampliación del túnel son los habituales en obras subterráneas: hormigón proyectado, cerchas metálicas y bulones.

RMR	CLASE	BULONADO			HORMIGÓN PROYECTADO			ARMADURA		CERCILAS		MÉTODOS	
		L (m)	h/m2	s' (m)	e (cm)	CAPAS	SELLADO	MALLAZO	FIBRAS	TIPO	S' (m)	ESPECIALES	
100	Ia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	Ib	2/3	0.10	Ocasional	2	Ocasional	No	SENCILLO OCASIONAL	FIBRAS	TH-21	No	HERNOLD PARAGUAS	
80	IIa	3	0.10-0.25	Ocasional	5	1	Ocasional				No		
70	IIb	3	0.25-0.44	2 x 2/1.5 x 1.5	6-10	1/2	Si				No		
60	IIIa	3-4	0.44-0.66	1.5 x 1.5/1 x 1.5	8-15	2-3	Si				Ocasional		
50	IIIb	4	0.66-1	1 x 1.5/1 x 1	12-20	2-3	Si	SENCILLO OCASIONAL	FIBRAS	TH-21	1.5	HERNOLD PARAGUAS	
40	IVa	4-4.5	0.80-1	1 x 1.25/1 x 1	16-24	3	Si				3		
30	IVb	4.5-5	1	1 x 1	20-30	3	Si	DOBLE	FIBRAS	TH-29	0.75-1	HERNOLD PARAGUAS	
20	Va	-	-	-	30-40	3-4	Si				0.5-0.75		
10	Vb	<b>SISTEMAS ESPECIALES</b>											

**Ilustración 224: Sostenimiento según Romana (Fuente: Romana, 2000)**

### Hormigón proyectado:

El uso del hormigón proyectado como elemento de sostenimiento en túneles es una práctica habitual en este tipo de infraestructuras, ya que además de las excelentes propiedades mecánicas como elemento de soporte (a compresión), ofrece múltiples ventajas constructivas, pues evita la necesidad de encofrados, los cuales generalmente resultan lentos, costosos y complejos para su uso en la construcción de obras subterráneas, permitiendo la puesta en obra por proyección directa sobre la superficie a hormigonar.

El hormigón proyectado tiene la misión principal de sellar la superficie de la roca, cerrando las juntas y evitando la descompresión y alteración del macizo, pudiendo resistir además los esfuerzos solicitados por pequeñas cuñas o bloques de roca.

Una vez terminadas las labores de desescombro y saneo, es conveniente aplicar, en el menor tiempo posible, una primera capa de sellado, de espesor mínimo 5 cm. Una vez concluidos los trabajos de colocación del resto de elementos del sostenimiento (cerchas o marcos, dependiendo del sostenimiento tipo definido en los perfiles constructivos de los túneles), se procederá a proyectar por capas, hasta conseguir el espesor mínimo propuesto por el tipo de sostenimiento aplicable en función del ámbito de aplicación en cada tramo de túnel.

Los materiales frágiles, como es el caso del hormigón en masa sometido a tensiones de tracción, se caracterizan porque no presentan una ductilidad significativa. Es decir, se deforman elásticamente hasta su fisuración, y posteriormente alcanzan el estado de rotura sin experimentar deformaciones adicionales apreciables. Esta reducida ductilidad del hormigón traccionado, además de su baja resistencia frente a ese tipo de sollicitación, se han solucionado tradicionalmente mediante la incorporación de barras continuas de acero (mallas electrosoldadas), para el refuerzo localizado de aquellas zonas solicitadas por tensiones de tracción en el hormigón de sostenimiento.

– Refuerzo del hormigón proyectado:

En los últimos años se ha iniciado la sustitución de las mallas por fibras de acero que se incorporan a la dosificación del hormigón a proyectar y que mejoran notablemente los rendimientos de puesta en obra, aspecto que en obras subterráneas redundaría en beneficio de las condiciones de seguridad durante la construcción del túnel.

La incorporación de fibras de acero mejora, entre otros aspectos, dicho comportamiento post-fisuración del hormigón proyectado con fibras de acero (HRFA) en tracción, modificando sus propiedades plásticas de manera más o menos importante en función de una serie de factores, tales como:

- Las características mecánicas del hormigón: resistencia y módulo elástico.
- El tamaño máximo del árido empleado en la matriz de hormigón.
- Las propiedades mecánicas de las fibras: resistencia y módulo elástico.
- Las propiedades geométricas de las fibras: forma y esbeltez.
- La dosificación y orientación de las fibras dentro de la matriz de hormigón.
- La adherencia superficial en la interfase fibras de acero - matriz de hormigón.

En este TFM se ha considerado el refuerzo del hormigón proyectado de los elementos de sostenimiento con fibras de acero, donde además son recomendadas para valores de RMR entre 40-70 y opcionales entre valores de 20-40.

**Cerchas metálicas:**

Actualmente se entiende por sostenimiento con cerchas metálicas en los túneles, aquellos formados por estructuras metálicas que forman arcos o portales con la forma geométrica del túnel, que se colocan de forma paralela a los frentes de excavación.

En la construcción de túneles las cerchas se emplean como elementos de refuerzo del sostenimiento. Las cerchas en este caso pueden actuar como elemento de soporte de la carga muerta de la roca suelta o como suministrador de confinamiento para contrarrestar la deformación del terreno y la convergencia de las paredes del túnel.

Las holguras en la colocación de las cerchas vienen siendo normalmente superiores a los 5 cm por lo que, para unas condiciones de diseño razonables, con pocas convergencias, como las previstas en el túnel de La Romera, no es probable que el terreno llegue a entrar en contacto directo con las cerchas, y por lo tanto, éstas quedarán lejos de su máxima capacidad resistente.

Es por esta razón que en la construcción moderna de túneles las cerchas son un complemento del sostenimiento con hormigón proyectado, que es un elemento de refuerzo de la excavación del túnel que además sirve de unión entre el terreno y las cerchas, de tal manera que es el conjunto del sostenimiento el que trabaja con toda su capacidad mecánica como sección mixta hormigón-acero.

Aunque en un primer momento se pensó en el uso de cerchas reticuladas, éstas no han tenido en España el éxito y la aceptación que se esperaba. Las cerchas más empleadas en túneles son las TH, son más flexibles y permiten una puesta en obra más fácil, pudiendo ser atresillados mediante barras corrugadas de acero. Reúnen unas condiciones de ligereza, resistencia y capacidad de asimilar deformaciones acordes a las condiciones del terreno previsto en este TFM, con uso en valores de RMR recomendados entre 40-60. Además, se utilizan los perfiles HEB, altamente empleados, para los tramos donde se esperan mayores deformaciones (RMR entre 10-30). Estos perfiles son más rígidos y por tanto menos deformables, son más adecuados cuando el terreno transmite cargas muy altas, ya que se fabrican con aceros de límite elástico superiores a las de las cerchas THN y, por tanto, trabajan en régimen elástico sin grandes deformaciones.

#### **Bulones:**

En este TFM se ha optado por utilizar bulones de expansión, tipo Swellex. Son bulones de anclaje por fricción que consiguen un perfecto sostenimiento mediante la suspensión y confinamiento del terreno durante la excavación. Su forma de colocación, mediante la inyección de agua a alta presión, permite una total adaptación del bulón al terreno y un óptimo anclaje de este.

El sistema bulones expansivos consiste en unos bulones de acero tubular, que han sido plegados hacia dentro en toda su longitud con el fin de reducir su diámetro, un brazo de instalación y una bomba de inyección de agua (neumática, hidráulica o eléctrica) de alta presión. De esta forma y una vez expandido el bulón, se genera una tensión de contacto entre el bulón y la pared del taladro, actuando dos tipos de fuerzas diferentes: una presión o fuerza radial perpendicular a su eje en toda su longitud y una fuerza de rozamiento estático o fricción también en toda su longitud.

Se opta por la utilización de este tipo de bulones para este TFM por las ventajas de utilización frente a otros tipos de bulones:

- Rapidez de instalación.
- Seguridad, consiguiendo efecto de sostenimiento inmediata.
- Funcionamiento con gran variedad de terrenos (amplio rango de aplicación).

- Instalación simple y cómoda.
- Protección del medio ambiente.
- Insensibles a las vibraciones.

**Paraguas de micropilotes:**

En ambos emboquilles del túnel, se considera un macizo rocoso Clase IV-V de Bieniawski en una longitud de 15 metros en cada boca del túnel. Es por ello por lo que se considera necesaria la instalación de dos paraguas de micropilotes, de longitud 15 metros, que evite las deformaciones en ambos emboquilles.

**5.3.1.4.1. Tramificación del sostenimiento y/o soluciones**

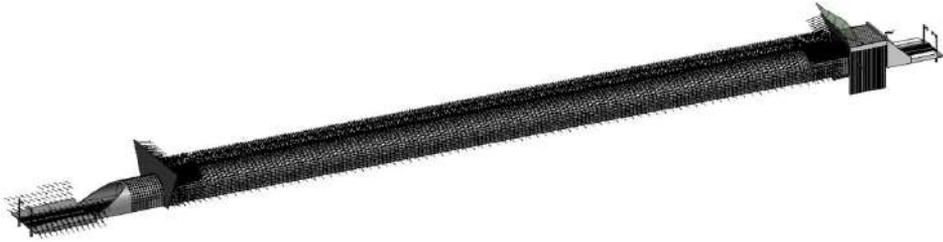
Atendiendo a la tramificación geotécnica del túnel y las recomendaciones de los autores descritos, se plantea la siguiente tramificación.

Es importante destacar, que la tramificación en emboquilles viene dada por el proceso constructivo planteado con posterioridad y por las soluciones expuestas en el apartado específico donde se tratan las soluciones a acometer en emboquilles.

Además, para el diseño de las soluciones planteadas, se ha realizado un **modelo BIM** mediante el cual se ha optimizado el proceso de diseño, de obtención de planos, de mediciones/presupuesto, de proceso constructivo y de visualización, para la comprensión del proyecto, como se podrá observar más adelante.



**Ilustración 225: Modelo BIM del túnel ampliado, 1 (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 226: Modelo BIM del túnel ampliado, 2 (Fuente: Elaboración propia)**

A continuación, se presenta una tabla resumen donde se especifica el sostenimiento a aplicar en cada uno de los tramos y que resume la información que se presenta a continuación para cada tramo:

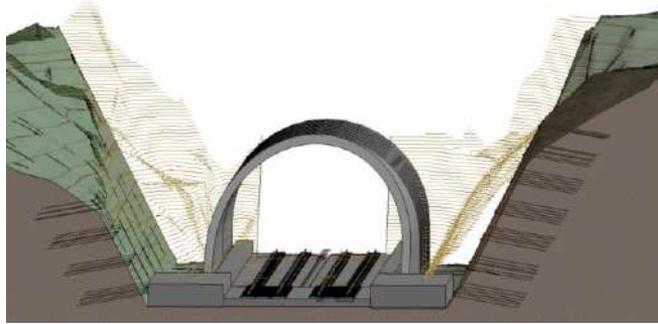
TRAMO DE PK	LONGITUD	TIPO	BULONADO	HORMIGÓN PROYECTADO	CERCHAS	OTROS
226+884 - 226+896	12	Falso túnel	-	50 mm + 160 mm	HEB-160 cada 1 m	Chapa Bernold
226+896 - 226+901	5	Emboquille	L = 5 m cada 1 m	50 mm + 160 mm	HEB-160 cada 1 m	Paraguas
226+901 - 226+911	10	Emboquille	L = 5 m cada 1 m	50 mm + 160 mm	TH-21 cada 1 m	Paraguas
226+911 - 227+139	228	Galería	L = 4 m cada 1,5 m	50 mm + 110 mm	TH-21 cada 1,5 m	-
227+139 - 227+149	10	Emboquille	L = 5 m cada 1 m	50 mm + 160 mm	TH-21 cada 1 m	Paraguas
227+149 - 227+154	5	Emboquille	L = 5 m cada 1 m	50 mm + 160 mm	HEB-160 cada 1 m	Paraguas
227+154 - 227+159	5	Visera	-	50 mm + 160 mm	HEB-160 cada 1 m	Chapa Bernold
227+159 - 227+168	9	Estructura	-	-	-	Estructura

**Ilustración 227: Tramificación de sostenimientos (Fuente: Elaboración propia)**

– **Tramo 1 (226+884 - 226+896):**

Este tramo corresponde a la solución propuesta al emboquille de entrada. Como se ha explicado con anterioridad en múltiples ocasiones, la boca del túnel actual está muy encajada al final de la trinchera existente y en el talud frontal hay dos niveles de contención con muros de mampostería que contienen el terraplén de la autovía A-2.

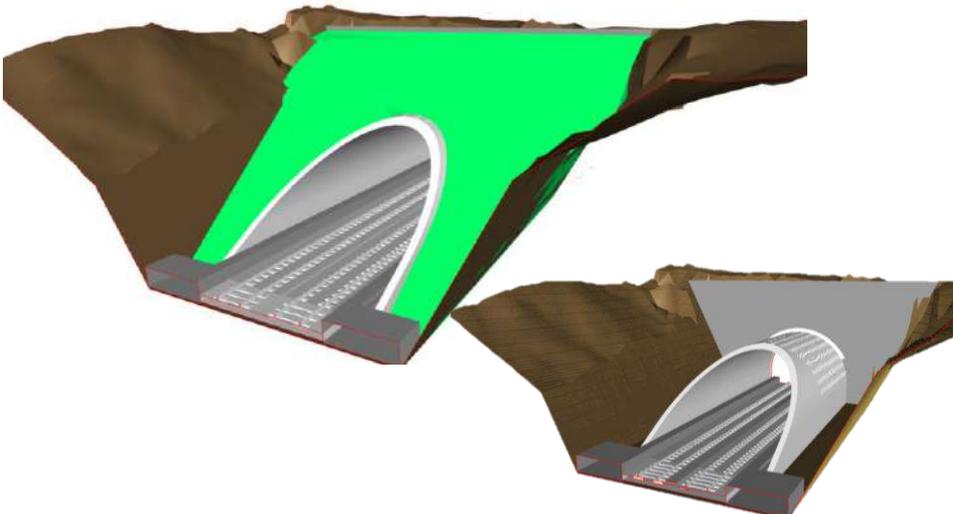
Está tan encajado que es necesario ampliar la trinchera para poder ejecutar la ampliación del túnel y poder así llevar a cabo los trabajos de manera eficaz y segura. Es por ello por lo que la plataforma se amplía en 3 metros medidos desde el trasdós del hastial del revestimiento, del nuevo falso túnel, hasta el pie del talud excavado. De esta forma, se amplía la trinchera (incluidos metros antes) con los mismos taludes que los existentes y protegiendo la plataforma frente a desprendimientos con unos bulones  $\varnothing$  25mm y de longitud 4 m, en cuadrícula de 2x2 m, y una malla galvanizada de triple torsión, en la zona de seguridad de los andenes.



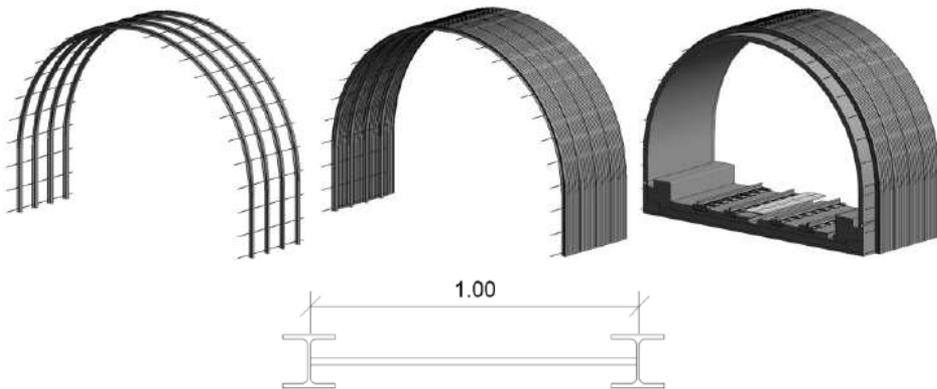
**Ilustración 228: Ampliación de la trinchera (Fuente: Elaboración propia)**

Antes de ampliar la plataforma, es necesario actuar desde el exterior reforzando los muros de contención de tierras existentes mediante mallazo electrosoldado, proyección de hormigón de 20 cm y bulonado mediante barras de acero corrugado de 12 metros de longitud y 25 mm de diámetro, en cuadrícula de 1,5 x 1,5 metros, al tresbolillo, asegurando así su estabilidad frente a la contención de tierras.

Con el fin de evitar inestabilidades no deseadas, tras las labores de estabilización y/o refuerzo de los muros, se propone ejecutar un falso túnel en una longitud de 12 metros, con relleno de tierras al 2H:1V, cubriendo el muro frontal existente en el emboquille de entrada, ejecutado de forma previa a la ampliación del resto del túnel. Este falso túnel está compuesto por cerchas HEB-160 cada 1 metro, chapa Bernold, hormigón proyectado exterior de 50 mm y hormigón proyectado interior de 160 mm.



**Ilustración 229: Falso túnel con relleno (Fuente: Elaboración propia)**



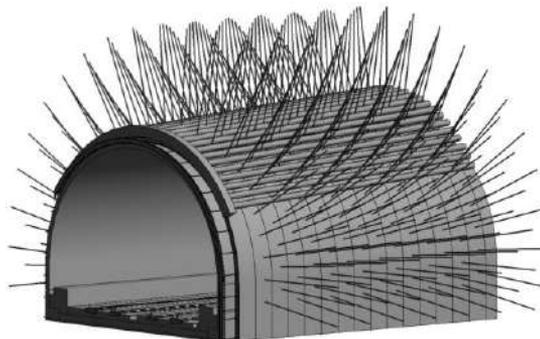
**Ilustración 230: Elementos del falso túnel (Fuente: Elaboración propia)**

– **Tramo 2 (226+896 - 226+901):**

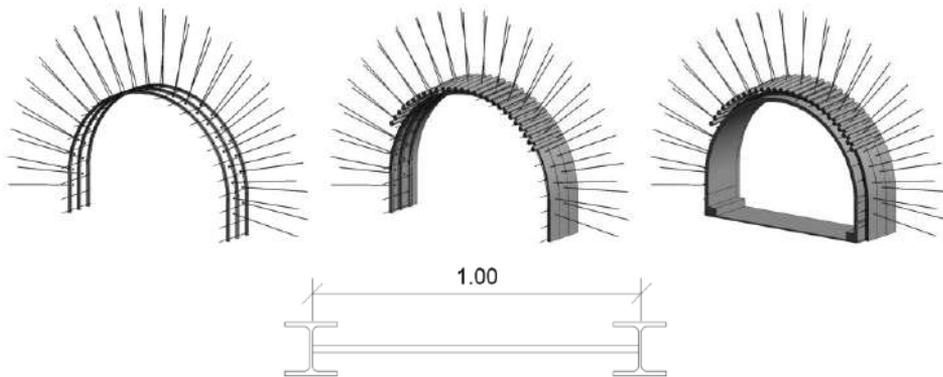
Este tramo corresponde al inicio de la ampliación del túnel existente. Como se ha dicho anteriormente, para evitar deformaciones no esperadas, y como actuación complementaria al bulonado del muro superior existente, se plantea la ejecución de un paraguas de emboquille a base de micropilotes, previo a la ampliación de la sección para que, además, impida el asiento del muro de emboquille existente y del terreno, en una longitud de 15 metros.

Este tramo estará compuesto, además del paraguas de emboquille (con viga de atado), por un sostenimiento a base de cerchas HEB-160 cada 1 metro, bulones de longitud 5 metros cada 1 metro, una capa de sellado de 50 mm y una capa de hormigón proyectado de 160 mm.

Si bien el tramo 1 se ejecutará previo a la ampliación del túnel, cabe recordar que la situación óptima para la ampliación se basa en comenzar las labores desde el emboquille de salida, por lo que este tramo será el último a ejecutar.



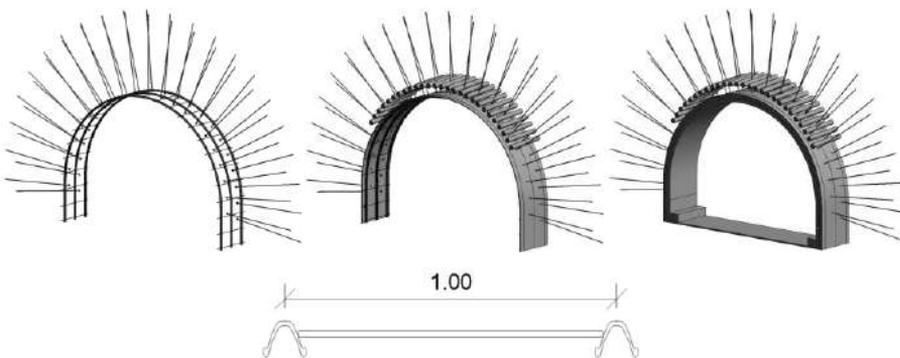
**Ilustración 231: Sostenimiento del tramo 2 y 3 (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 232: Elementos del tramo 2 (Fuente: Elaboración propia)**

– **Tramo 3 (226+901 - 226+911):**

El tramo 3, también considerado dentro del tramo con peor terreno a atravesar, según la clasificación explicada, tiene el mismo sostenimiento que el tramo 2, a diferencia de que las cerchas utilizadas son TH-21. Las cerchas se colocarán también cada 1 m, bulones de longitud 5 metros cada 1 metro, una capa de sellado de 50 mm y una capa de hormigón proyectado de 160 mm.

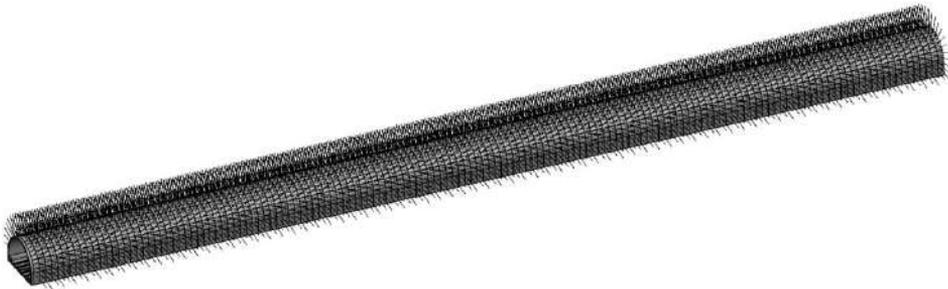


**Ilustración 233: Elementos del tramo 3 (Fuente: Elaboración propia)**

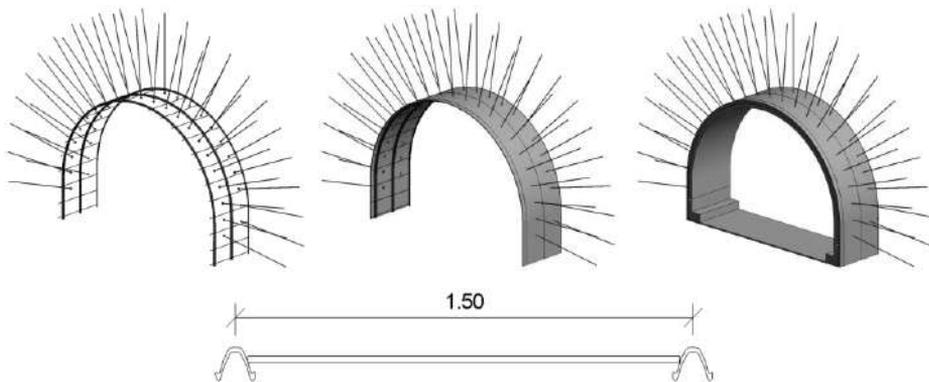
– **Tramo 4 (226+911 - 227+139):**

El tramo 4 supone el 82% de la longitud del túnel existente, con la mejor calidad del terreno a atravesar y con el mayor tramo de sostenimiento ligero.

En este caso, para este tramo, el sostenimiento a ejecutar está formado por cerchas tipo TH-21 cada 1,5 m, bulones de longitud 4 metros cada 1,5 m, una capa de sellado de 50 mm y una capa de hormigón proyectado de 110 mm.



**Ilustración 234: Modelo BIM del tramo 4 (Fuente: Elaboración propia)**



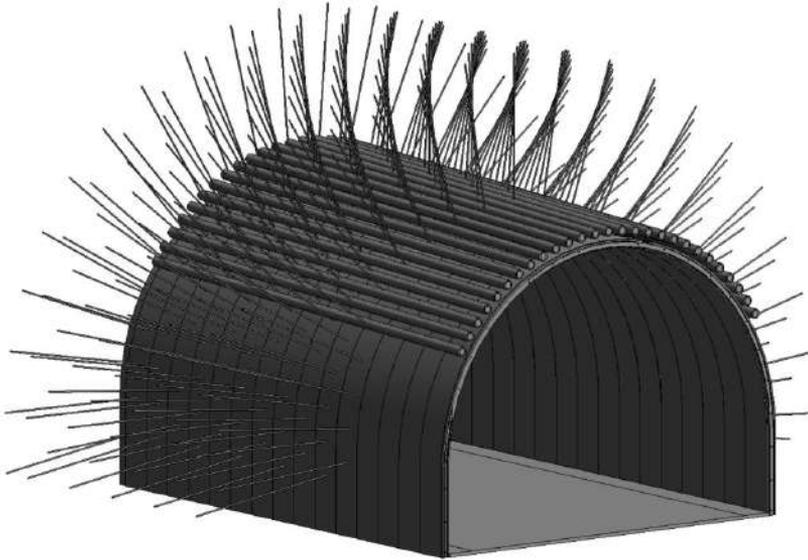
**Ilustración 235: Elementos del tramo 4 (Fuente: Elaboración propia)**

– **Tramo 5 (227+139 - 227+149):**

El tramo 5 es un tramo homólogo al 3, ya que el sostenimiento que se plantea entre estos puntos kilométricos es el mismo: cerchas TH-21 cada 1 m, bulones de longitud 5 metros cada 1 metro, una capa de sellado de 50 mm y una capa de hormigón proyectado de 160 mm, bajo el paraguas de micropilotes del emboquille de salida.

– **Tramo 6 (227+149 - 227+154):**

El tramo 6 es un tramo homólogo al 2, ya que el sostenimiento que se plantea entre estos puntos kilométricos es el mismo: paraguas de emboquille (con viga de atado), cerchas HEB-160 cada 1 metro, bulones de longitud 5 metros cada 1 metro, una capa de sellado de 50 mm y una capa de hormigón proyectado de 160 mm.

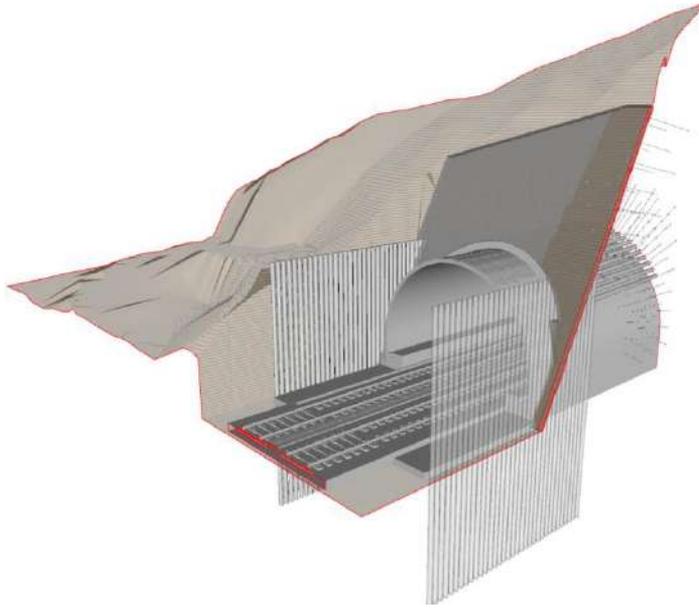


**Ilustración 236: Sostenimiento de los tramos 5 y 6 (Fuente: Elaboración propia)**

– **Tramo 7 (227+154 - 227+159):**

El tramo 7 corresponde a la visera de protección del emboquille formado por cerchas HEB-160 cada 1 metro, chapa Bernold, hormigón proyectado exterior de 50 mm y hormigón proyectado interior de 160 mm.

Para poder comenzar con la ampliación del túnel y empezar acometiendo el sostenimiento del tramo 6 y la correspondiente visera del tramo 7, hay que tener en cuenta que el nuevo emboquille debe tener una cobertera competente, estimada en un diámetro de sección sobre la clave de la sección ampliada. Para ello, se plantea la demolición del revestimiento del túnel existente y desmontado de las tierras hasta este P.K., de manera que favorezca las labores de ampliación y sostenimiento. Las labores de demolición se proponen mediante el uso de un escudo de protección de plataforma (que mantenga en todo momento la seguridad de la plataforma) y dos pantallas de micropilotes, que tendrán tanto la función de permitir la excavación provisional como para definir la estructura de reposición del camino existente. Los desmontes provisionales son bulonados y gunitados para mantener la estabilidad durante la ejecución de la ampliación del túnel mediante bulones de 6 metros de longitud, en cuadrícula de 1,5x1,5 m, mallazo, y una capa de hormigón proyectado de 20 cm.



**Ilustración 237: Sección de la solución del emboquille de salida (Fuente: Elaboración propia)**

– **Tramo 8 (227+159 - 227+168):**

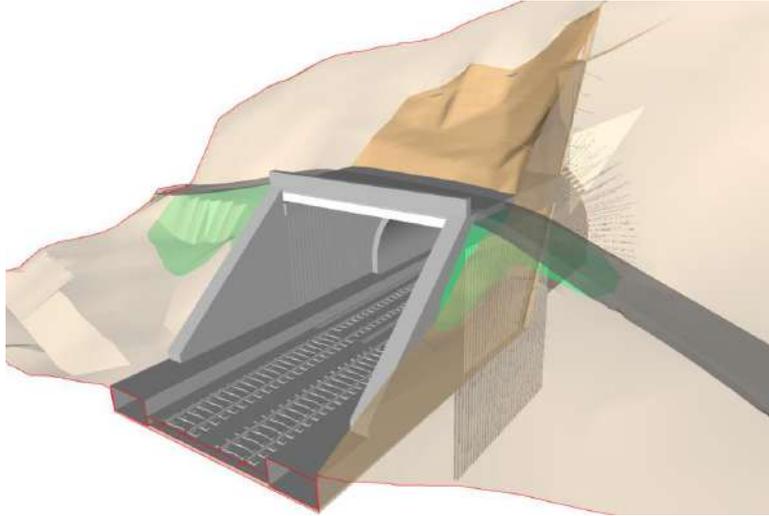
El tramo 8 corresponde a la longitud de la actuación la cual es necesaria para reponer la parte del túnel demolida para poder llevar a cabo la ampliación.

La única servidumbre que podría verse afectada, de forma temporal, por dicha demolición es el camino de servicio/acceso a las parcelas colindantes a la línea ferroviaria, de uso agrícola, que transcurre justo por la clave del túnel actual.



**Ilustración 238: Camino de acceso afectado por la ampliación (Fuente: Google Earth, 2020)**

En este caso, para reponer esta servidumbre, se plantea una estructura biapoyada sobre dos cargaderos (de las pantallas de micropilotes), formada por unas vigas prefabricadas de 70 cm de canto y una losa de reparto de 20 cm que además de permitir el tráfico rodado tras la reposición del camino, permite el relleno de tierras en el emboquille.



**Ilustración 239: Estructura del emboquille de salida y reposición del camino de acceso a fincas**  
(Fuente: Elaboración propia)

#### 5.3.1.5. Revestimiento

El revestimiento debe ser diseñado para potenciar la durabilidad del conjunto de elementos que integran el túnel, así como la suya propia. Por tanto, sus elementos constitutivos, composición, etc, deben ser concebidos conforme a la agresividad del medio, y durante el periodo de vida útil.

De igual modo, el revestimiento debe proporcionar unas condiciones de acabado del túnel compatibles con el uso de la infraestructura, permitiendo un adecuado comportamiento frente a la acción del fuego, lo que en general supone garantizar la estabilidad del túnel y del propio revestimiento, durante un determinado plazo de tiempo.

Las funciones más importantes que tiene el revestimiento son:

- Disminuir las labores de mantenimiento y conservación, costosas y que entorpecen el tráfico.
- Proteger el sostenimiento frente a un posible incendio, el efecto de la agresividad y envejecimiento.
- Evita la posible incidencia de convergencias residuales.

En este TFM, se ha definido un revestimiento constituido por un anillo de hormigón de 25 cm de espesor mínimo en hastiales y bóveda.

Además, al hormigón del revestimiento (expuesto al fuego) se propone añadir fibras de polipropileno, para mejorar las características del mismo frente al fuego en caso de incendio.

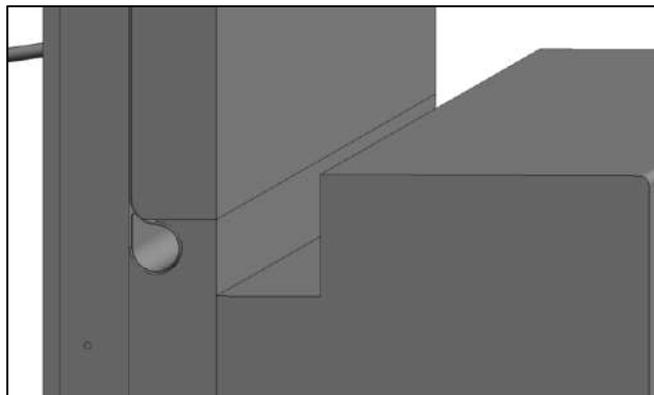
#### 5.3.1.6. Impermeabilización y drenaje

Para proteger por tanto el revestimiento de la acción de las aguas subterráneas, y para evitar posibles goteos sobre la plataforma, así como aliviar las presiones intersticiales sobre aquel, se considera conveniente la impermeabilización completa del túnel.

El sistema que se considera más eficaz está constituido por una lámina porosa de protección, situada en contacto con el sostenimiento, lámina de tipo geotextil, y otra lámina de impermeabilización colocada a continuación de tipo sintético (PVC). El geotextil se ocupa de captar y filtrar los caudales interceptados en todo el perímetro del túnel para aliviar las presiones intersticiales, así como proteger la lámina frente a las irregularidades del sostenimiento.

Estas láminas se aplican sobre el hormigón proyectado, sujetándolas con anclajes mecánicos y soldando térmicamente las distintas piezas necesarias para cubrir los paramentos del túnel.

La lámina de impermeabilización, de espesor 2 mm, tendrá continuidad mediante termo-soldado, hasta alcanzar los tubos dren de PVC ranurado de Ø110 mm que se colocarán longitudinalmente a lo largo de los túneles, cerca de los paramentos y que conectarán con las cunetas adosadas al paramento ubicadas en las aceras.



**Ilustración 240: Detalle de impermeabilización y drenaje (Fuente: Elaboración propia)**

Sí bien es cierto que la presencia de agua en el túnel de La Romera no es elevada, es importante remarcar que el tubo dren longitudinal esté ubicado en el murete (bajo la

junta de hormigonado, entre el murete y el revestimiento). De lo contrario, es posible que el agua entre por las juntas y acabe aflorando en la vía.

### 5.3.1.7. Método constructivo

Antes de comenzar a analizar los métodos constructivos para la ampliación del túnel, aunque esté relacionado con ello, es necesario analizar la capacidad que tiene la roca atravesada para ser excavada. Es por ello por lo que, partiendo de los datos geotécnicos analizados con anterioridad, se estudia su competencia de la siguiente manera.

#### 5.3.1.7.1. Excavabilidad

Son tres los criterios que se van a utilizar para analizar la excavabilidad de la roca y por tanto la aptitud de uno u otro método de excavación: el Índice de Abrasividad Cerchar, el Índice de Schimazek (ambos como dato en el contexto geotécnico), además del criterio que propuso el profesor Romana, recientemente fallecido por la trágica situación en la que se encuentra el país.

#### Índice de Abrasividad Cerchar

El método Cerchar determina, por medio de un ensayo específico de laboratorio, la abrasividad de las rocas midiendo el desgaste de un cono de acero causado rasguñando una superficie rocosa recién rota. Analizando el criterio de abrasividad y rozabilidad de las rocas a partir del índice Cerchar (Díaz Méndez, 1997) se tiene que con un valor de 2,8 la roca es poco abrasiva:

Índice de Abrasividad Cerchar	CLASIFICACIÓN
> 4,50	Extremadamente abrasiva
4,50-4,25	Altamente abrasiva
4,25-4,00	Abrasiva
4,00-3,50	Moderadamente abrasiva
3,50-2,50	Abrasividad media
2,50-1,20	Poco abrasiva
<1,20	Muy poco abrasiva

**Ilustración 241: Índice Cerchar (Fuente: Elaboración propia)**

#### Índice de Schimazek

Atendiendo al índice de Schimazek (0,18 kN/m), criterio para estimar la excavabilidad del túnel mediante medios mecánicos, y al siguiente cuadro, que permite conocer la abrasividad y rozabilidad de las rocas, siguiendo la franjas que analizan su capacidad se obtiene que la rozabilidad de este tipo de material es muy buena:

Índice de Schimazek F(Kn/M)	ROZABILIDAD
0,2-0,3	Muy buena
0,3-0,4	Buena
0,4-0,5	Moderada
0,5-0,6	Regular
0,6-0,8	Mala
0,8-1,0	Muy mala

**Ilustración 242: Franjas del Índice de Schimazek (Fuente: Elaboración propia)**

#### Criterio de Romana

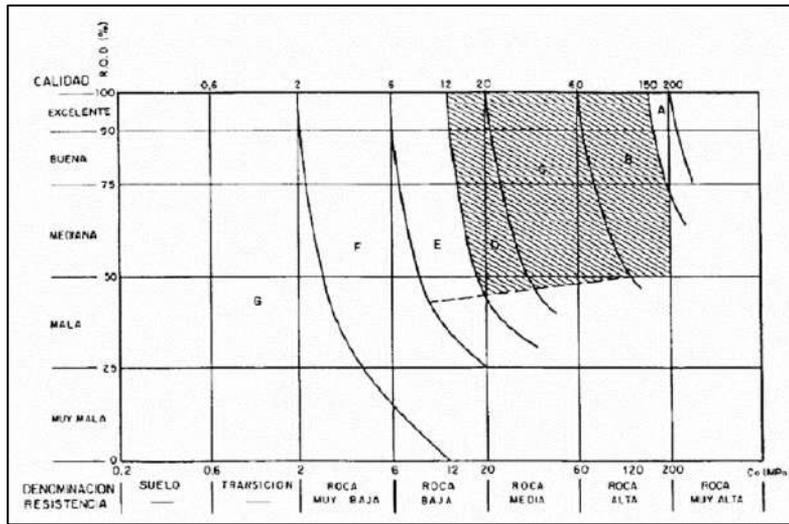
Romana propuso en el año 1.981 (modificada en los años 1.993 y 2.006) una clasificación de los macizos rocosos que se basaba en los parámetros de resistencia a compresión simple y RQD.

Los datos obtenidos del contexto geotécnico son los siguientes:

- Grupo 4:
  - Resistencia a compresión simple: 33,65 MPa (variable entre 11 y 55 MPa).
  - RQD: entre 50 y 75%.
- Grupo 5:
  - Resistencia a compresión simple: 48 MPa (variable entre 15 y 110 MPa).
  - RQD: entre 50 y 90%.

Atendiendo a la siguiente figura, y con los ratios que hay como dato para el material rocoso, se tiene que ambos materiales podrían categorizarse dentro de la denominación C y D, si bien el grupo 5 tiene mayor predisposición a incluirse como un material con resistencia C o incluso podría llegar a ser B en algunos puntos con mayor resistencia. En cambio, en cuanto al grupo 4 podrían llegar a encontrarse materiales con denominación E, en menor medida.

En el caso del túnel de La Romera, la mayor parte de material que se espera atravesar es del grupo 4, por lo que podría decirse que en mayor medida se encontraría material D, o incluso C y E en menor medida:



**Ilustración 243: Clasificación simplificada de los macizos rocosos (Fuente: Romana, 1981)**

Atendiendo a la siguiente figura, en la que Romana analiza la excavabilidad del material en función de la denominación de resistencia, se tiene que el escarificador-martillo sería “Posible?” para una gran parte del material, “posible” para una pequeña parte y “posible-adecuado” el uso de rozadora en caso de que el material sea más competente.

ZONA	TBM (F <sub>n</sub> , T)		ROZADORAS (Peso en T.)			ESCARIFICADOR MARTILLO	PALA TRAILLA
	>25	<25	>100	80-100	80-50		
A	P?	-	-	-	-	-	-
B	A	P?	P?*	?	-	-	-
C	A	A	A*	A	A	-	-
D	A	A	A*	A	A	P	P?
E	P	P	P*	P	A	A	P?
F	-	-	-	-	P	A	P
G	-	-	-	-	-	P?	A

CLAVE: P?, ¿posible?; P, posible; A, adecuado; \*2006

**Ilustración 244: Excavabilidad siguiendo el criterio de Romana (Fuente: Romana 2006)**

La excavabilidad de los materiales atravesados por el túnel se considera con carácter general viable mediante la utilización de medios mecánicos (**martillos hidráulicos**). No solo por la competencia del material, sino también porque el material a excavar no se puede asemejar a la excavación del frente de un túnel. La cantidad de material y la

excavación a realizar, apoyándose en las juntas existentes características en este tipo de materiales, puede favorecer el uso de medios mecánicos.

Podría decirse que, para rocas con separación métrica de las juntas, el límite de trabajo de estos martillos estaría en el límite de unos 150 MPa de resistencia a compresión simple de la roca, mientras que, en el caso de separaciones decimétricas, podría alcanzar los 200 MPa.

Además, siguiendo otros criterios como el de Abdullatif y Cruden (1983) se tiene que la escarificación puede realizarse en rocas para un RMR entre 30 y 60.

No obstante, en determinados tramos, el macizo rocoso puede ser suficientemente competente (resistencia a compresión simple elevada y fracturación escasa) como para exigir el empleo de métodos complementarios que permitan la fracturación previa del mismo y facilitar su posterior excavación mecánica.

También, en caso de requerirlo, podría utilizarse el uso de fresadoras de potencia media montada sobre un brazo de una retroexcavadora o similar, útiles para RMR entre 30 y 50 que puede ser un método complementario a los martillos hidráulicos, ya que pueden utilizarse en la misma maquinaria sin cambios importantes.

#### 5.3.1.7.2. Análisis de soluciones constructivas

Para llevar a cabo la ampliación del túnel, se plantean dos posibles soluciones constructivas en cuanto a su procedimiento: métodos convencionales y métodos mecanizados. Ambos son viables constructivamente, pero cada uno de ellos presentan unas ventajas e inconvenientes que enfocan, dadas las condiciones de contorno, la solución finalmente planteada.

Teniendo en cuenta el estado actual del túnel y el conjunto de condicionantes descritos en apartados precedentes, para la elección del procedimiento constructivo más conveniente se ha realizado, en primer lugar, un análisis de los distintos condicionantes y un estudio de las experiencias acumuladas en ampliaciones de túneles ferroviarios de esta tipología.

En especial, se ha estudiado con detenimiento el “Proyecto constructivo para la ampliación del ancho estándar en el trayecto entre Astigarraga e Irún. Infraestructura y vía” (Adif Proyecto, 2020), que presenta tres túneles (Gaintxurizketa, Loyola y Capuchinos) de similares características geométricas (secciones tipo, longitudes, vías, etc.), de mismas necesidades futuras, así como de condicionantes operativos. En específico:

- el túnel de Capuchinos, de dicha línea, se ha planteado en el proyecto constructivo mediante métodos convencionales, dado los condicionantes tan especiales existentes,
- mientras que Loyola y Gaintxurizketa se han planteado mediante un equipo mecanizado novedoso en Europa. Además de ser los primeros túneles en

España donde se ha aplicado este nuevo procedimiento constructivo de ampliación de túneles, Gaintxurizketa es el primer túnel en España en el cual se comenzó a ampliar el túnel con este equipo mecanizado innovador, hasta la paralización de las obras en marzo de 2018, reactivadas tras el proyecto constructivo en los próximos meses a la realización de este TFM.



**Ilustración 245: Ampliación de túneles de referencia. Ubicación (Fuente: Elaboración propia)**

Cabe especial mención recordar que uno de los condicionantes más importantes para la elección final de la solución constructiva de la ampliación del túnel de La Romera, como se ha plasmado en apartados precedentes, pasa por la necesidad imperiosa de mantener la operación de la línea ferroviaria durante la ejecución de la ampliación, aspecto que condiciona tanto los métodos de actuación como la consideración y establecimiento de situaciones provisionales compatibles con esta necesidad.

En este tipo de túneles y condicionantes de operación tan exigentes por parte de la Administración, se evidencia la complejidad de implementar procedimientos constructivos compatibles con el mantenimiento del tráfico ferroviario y los imperativos de seguridad inherentes a una actuación de esta naturaleza. Es por ello por lo que, en estos túneles de referencia (tanto en fase de proyecto como en fase de construcción), así como en el túnel objeto de este TFM, hay una predisposición inicial al empleo de un sistema mecanizado con máquina **TES (Tunneling Enlargement System)** (GTA, 2017) adaptado a las circunstancias geotécnicas y condiciones de contorno, pese a las escasas referencias nacionales.

Es cierto que internacionalmente, en especial en Alemania, está más instaurado este nuevo método constructivo, con casos de éxito reales como el “Jähroder Tunnel” o el “Mausenmühlentunnel” en la línea “Nahe”, o “Deutsche Bahn Line”, además de en los túneles “Frauenberger”, “Kupfereckentunnel”, “Langenauer”, y “Hollricher”. Estos túneles fueron los primeros en los que se empleó y por los que desarrolló este tipo de máquina innovadora en el mundo ferroviario (GTA, 2017) creada con diferentes modelos por empresas como “GTA Maschinensysteme GmbH” y “Herrenknecht Tunnelling Systems”.



**Ilustración 246: Máquina de ampliación de gálibos (Fuente: GTA, 2017)**

Tras estudiar el Proyecto Constructivo de referencia, que incluye la experiencia operativa durante la fase de obra de Gaintxurizketa con el equipo TES, se considera que la filosofía basada en el empleo de equipos mecanizados de ampliación de gálibo es el procedimiento constructivo más adecuado para permitir el mantenimiento del tráfico (en vía única) en el túnel de La Romera, siempre y cuando se asegure la integridad del túnel, y la seguridad de la operación, durante las labores de ampliación.

En el caso de los métodos convencionales, y sin posibilidad de desviar el tráfico por alguna variante, sería necesario cortar la línea existente para poder acometer las labores de ampliación. Ello, sumado a las labores de ampliación de todos los túneles descritos en la línea que necesitan ser ampliados, supone una actuación inviable para la operatividad de la línea y su posible alto impacto económico directo e indirecto. Suponiendo por parte del “cliente” de esa necesidad imperiosa que se toma como condicionante en este TFM, se descarta la posibilidad de acometer las labores por métodos convencionales para afrontar la totalidad de la ampliación.

La aplicación de un procedimiento de ampliación mecanizado como el que se describe a continuación, requiere el cumplimiento de una serie de exigencias para permitir su viabilidad, tales como existencia de accesos y espacios adecuados para el montaje de la máquina (espacio suficiente y existente junto al emboquille de salida, siendo el frente de actuación planteado por los condicionantes geotécnicos), requerimientos geométricos para permitir la operación del equipo y actividades involucradas (existe esta posibilidad dada las condiciones existentes de este túnel en recta), condiciones de excavabilidad compatibles con la tipología del equipo (descritas con anterioridad en el apartado “Excavabilidad”), las exigencias para su amortización, cobertera suficiente (gran cobertera en el túnel de La Romera), etc.

Si bien es cierto que el empleo de una máquina TES, innovadora en este tipo de obras, supone una inversión importante y difícil de amortizar para una única obra, más si cabe en túnel corto (en torno a 3 millones de euros de coste de compra e instalación (Adif

Proyecto, 2020)), la necesidad de ampliación y de condicionantes de operación existentes en el resto de túneles de la línea, y su posibilidad de utilizar la misma máquina TES en el resto de ellos, hacen viable la amortización de la máquina para el conjunto del programa y/o del resto de los proyectos a acometer.

### 5.3.1.7.3. Descripción de la máquina de ampliación de gálibos

Como se ha dicho con anterioridad, la ampliación de la sección del túnel se realizará mediante la ampliación de la bóveda y hastiales de la sección actual empleando medios mecanizados.

Aunque existen distintas variantes de la maquinaria en función de las necesidades (equipo preparado para voladura – excavaciones en roca, y equipo adaptado con medios de excavación mecánica), la filosofía consiste en el empleo de una máquina sobre raíles situados a ambos lados de la vía en servicio, que está dotada de un escudo en su interior a través del cual discurre el tráfico ferroviario y que excava y coloca un nuevo sostenimiento.

Este método requiere, en el caso de tener vía doble en el túnel, disponer una vía única provisional centrada en el túnel de tal manera que mientras se realiza la ampliación de la sección (excavación y sostenimiento) se permite la circulación del tráfico bajo la máquina.



**Ilustración 247: Máquina ubicada en emboquille, con vía única (Fuente: GTA, 2017)**

Como se puede observar en las siguientes imágenes, la máquina posee una parte con soportes para sujetar o fijar la bóveda del túnel antiguo para evitar el posible desprendimiento de esta mediante las labores de demolición, en los primeros metros de avance, sirviendo este soporte tanto para la integridad del propio túnel, como para la seguridad de la operación, tal y como es necesario en uno de los emboquilles.



**Ilustración 248: Demolición del túnel en el emboquille, con protección del escudo (Fuente: GTA, 2017)**

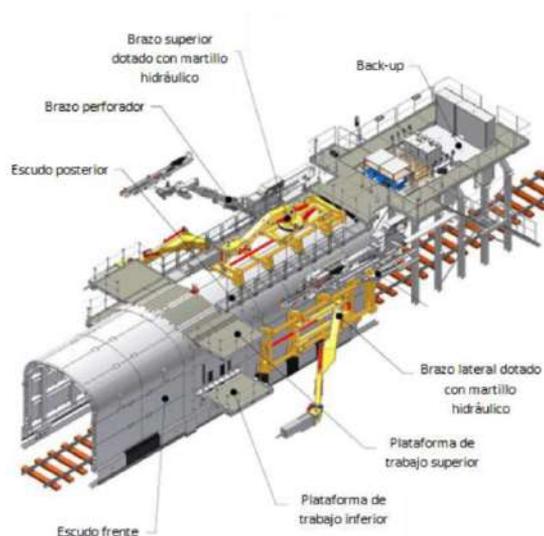
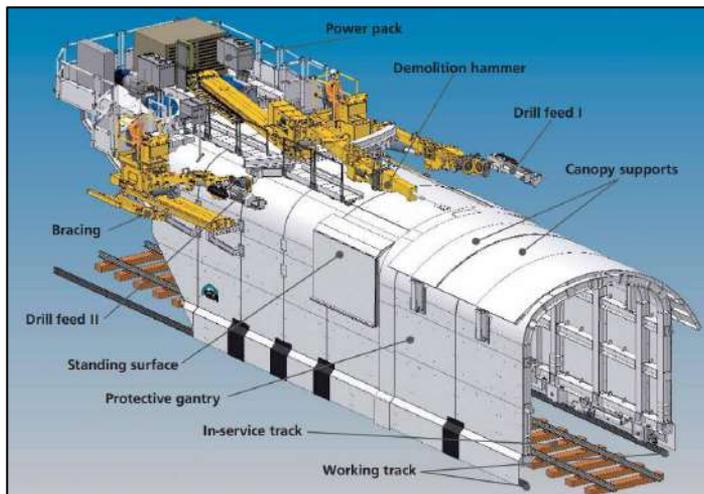


**Ilustración 249: Circulación entre la máquina y por la sección ampliada (Fuente: GTA, 2017).**



**Ilustración 250: Excavación superior y retirada de material por el lateral (Fuente: GTA, 2017).**

Aunque existen variantes en función del fabricante y necesidades impuestas por el terreno excavado, la máquina está compuesta de forma general por tres partes diferenciadas. En primera instancia se encuentra el escudo de protección del frente, seguido del escudo de protección posterior y finalmente la parte trasera o back-up donde van ubicados los motores, bombas y equipamientos para el funcionamiento de la máquina. En el siguiente esquema se muestran las distintas partes de la máquina:

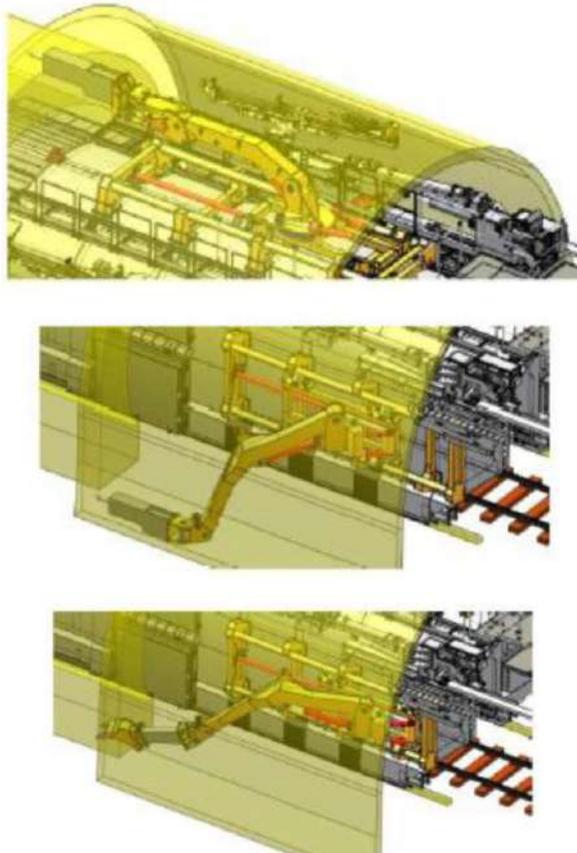


**Ilustración 251: Partes de la máquina de ampliación de gálidos, más back-up (Fuente: GTA, 2017)**

El escudo de protección del frente penetra dentro del túnel existente aproximadamente 6 metros de longitud. Este escudo frontal dispone de una “visera” metálica o capota que unido al escudo y accionado hidráulicamente se adapta al intradós de la bóveda del túnel existente. De esta manera se protege por delante el túnel según se va excavando, sujetando la bóveda e impidiendo movimientos verticales.

El escudo posterior está equipado con todos los utensilios y equipamientos para realizar la excavación. Dispone de dos brazos laterales y uno superior dotados con martillos hidráulicos para la demolición del revestimiento existente del túnel y la excavación de ampliación de la sección, abarcando la sección completa. Estos brazos permiten el movimiento en horizontal y vertical necesarios para la excavación.

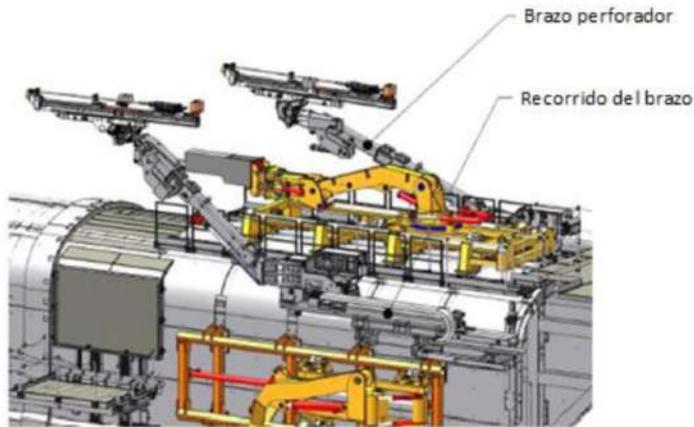
Así mismo, las herramientas de excavación pueden intercambiarse por otros útiles como cazos de excavación en función del tipo de terreno existente. Las siguientes figuras muestran los brazos empleados para la excavación:



**Ilustración 252: Brazos superior y laterales de excavación (Fuente: GTA, 2017)**

Por otro lado, el escudo posterior contiene otros dos brazos mecánicos para realizar las operaciones de perforación asimilable a los de un “jumbo”.

Esto incrementa la versatilidad del equipo para hacer frente a la aparición de terrenos que pudieran presentar cierta competencia para efectuar la excavación por medios mecánicos convencionales (utilizando martillos hidráulicos) y para labores de bulonado o de micropilotaje en el interior del túnel.

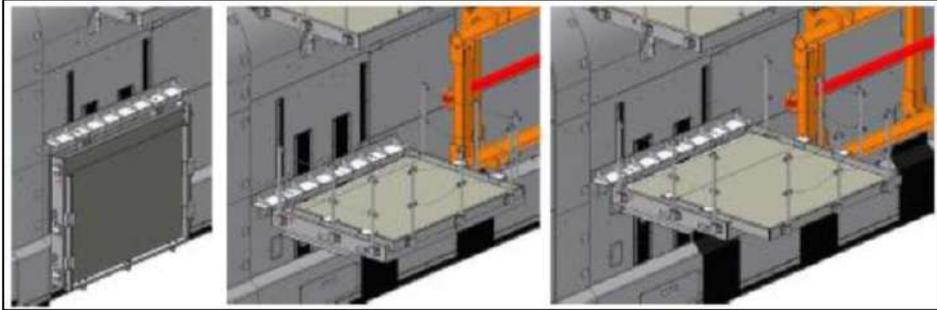


**Ilustración 253: Brazos perforadores (Fuente: GTA, 2017)**

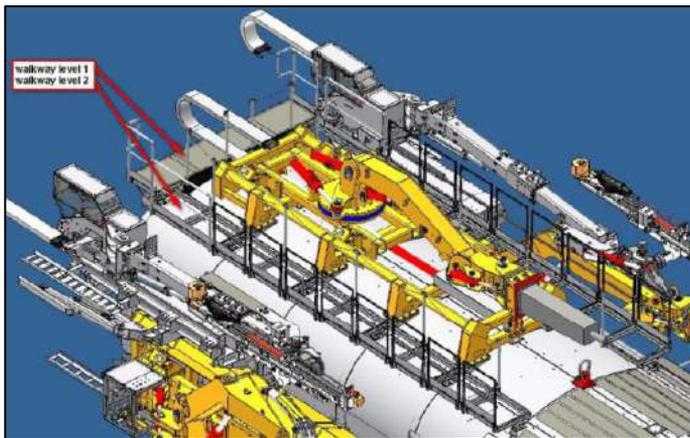
Dado que es en esta zona de la máquina donde se realizan las operaciones de excavación y sostenimiento, la máquina viene equipada con cuatro plataformas (dos a cada lado) además de permitir trabajar en la parte superior de la máquina. De esta manera se facilitan los trabajos y el acceso a toda la superficie excavada para colocar el sostenimiento.



**Ilustración 254: Plataformas superiores de trabajo convertibles (Fuente: GTA, 2017)**



**Ilustración 255: Plataformas inferiores de trabajo convertibles (Fuente: GTA, 2017)**

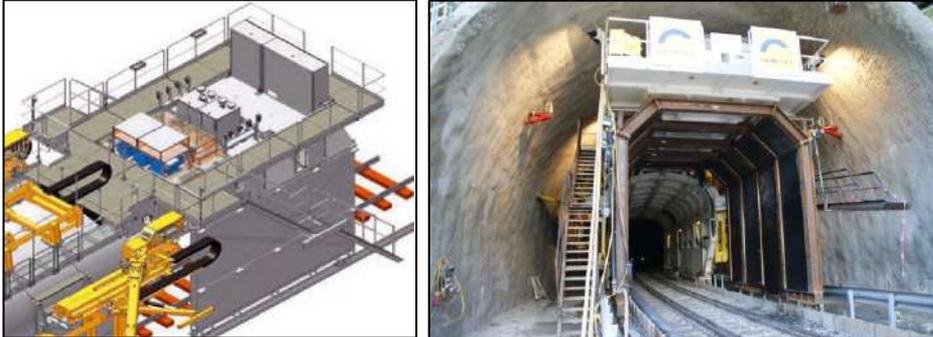


**Ilustración 256: Pasarelas de trabajo (Fuente: GTA, 2017)**



**Ilustración 257: Trabajos de perforación sobre la máquina (Fuente: GTA, 2017)**

Por último, detrás del escudo posterior, la máquina tiene un back-up con los equipamientos necesarios para el funcionamiento de los utensilios perforadores y de excavación, motores hidráulicos, bombas, etc.



**Ilustración 258: Back-up de la máquina de ampliación (Fuente: GTA, 2017)**

La longitud total de la máquina es aproximadamente de 30 metros, dispuesta sobre la vía de circulación y permitiendo el paso de los trenes bajo ella.

Si bien, este tipo de máquina sería del fabricante GTA Maschinensysteme GmbH, en el túnel de Gaintxurizketa (referencia nacional) se utilizó la máquina TES D-835 del fabricante Herrenknecht Tunneling Systems, de similares características a las presentadas.

Las siguientes imágenes son fotografías tomadas durante la ejecución de la ampliación del túnel de Gaintxurizketa con esta máquina descrita:



**Ilustración 259: TES colocada en vía en Gaintxurizketa (Fuente: Bidasotarra blogspot, 2017)**



**Ilustración 260: Máquina TES colocada en emboquille para el inicio de la ampliación (Fuente: Periódico construcción, 2018)**



**Ilustración 261: Sección ampliada en emboquille por máquina TES. Circulación del servicio de cercanías por la vía centrada (Fuente: Bidasotarra blogspot, 2017)**

La operatividad de este tipo de equipos está condicionada por los siguientes aspectos:

- Disponibilidad de espacio en la boca de ataque o zonas anexas para permitir el montaje del equipo.
- Dimensión de la sección de ampliación compatible con las necesidades de los equipos de extracción de tierras.
- Accesibilidad a la boca de ataque para garantizar la puesta a disposición de suministros y las operaciones de extracción de tierras.
- Sostenimiento basado en el empleo de hormigón proyectado y cerchas.
- Adaptabilidad de los equipos de excavación a la naturaleza geotécnica de los túneles a ampliar, dotando a los equipos de perforación de la suficiente versatilidad para lograr su adecuación a terrenos con características de excavabilidad diferentes, y la eventual necesidad de ejecución de tratamientos especiales en el propio frente.

La línea de montaje y construcción sería la siguiente:

Una vez ejecutada la puesta en vía única centrada de la línea ferroviaria, se procede en primer término a la ampliación del emboquille de entrada, en caso de ser necesario, con objeto de permitir el montaje y posicionamiento del equipo TES, así como el resto de las necesidades durante el desarrollo de las obras. Estas actividades exigen la protección de la plataforma ferroviaria mediante un escudo metálico adaptado a la geometría del túnel a ampliar, y con la capacidad suficiente para permitir la demolición de los primeros metros de esta infraestructura.

Tras dicha actuación se procede al transporte y montaje de la máquina de ampliación, para lo cual hay que tener preparado el equipo necesario para descargar, manipular, elevar, y posicionar en la zona de montaje todos los componentes que forman la máquina. Para ello, es necesaria una grúa de al menos 100 t para realizar el premontaje de los componentes en la zona de la plataforma de premontaje. Para el lanzamiento de las 4 unidades premontadas de la máquina es necesaria la participación de una grúa de 400 t para poder lanzar la unidad de martillos (min. 90 toneladas) que es la más pesada.

Dadas las condiciones estudiadas en los emboquilles de entrada y salida, sus soluciones planteadas, y el tipo de maquinaria propuesta, es importante remarcar que ambos emboquilles se realizarán por medios convencionales (ampliación de plataforma, sostenimiento de muros, ejecución de paraguas de micropilotes, sostenimientos especiales en emboquilles, etc., todas ellas relacionadas con la existencia de un entorno geotécnico más desfavorable), dada la necesidad de permitir el cale con la máquina de ampliación de gálibos con las suficientes garantías de efectividad y seguridad.

De acuerdo con dichos condicionantes la primera acción adoptada en el diseño de este túnel ha sido elegir el emboquille más conveniente para efectuar el ataque con la máquina de ampliación de gálibo. Una vez inspeccionados los entornos de sendas bocas,

identificando accesos, condicionantes de gálibo, explanadas, etc., se considera más favorable abordar la ampliación del túnel por la boca de salida, debido a la limitada accesibilidad a la plataforma por el emboquille opuesto, siendo coherente además con las condiciones óptimas de ampliación desde el punto de vista geotécnico. Una vez terminada las labores de ampliación de la sección, la máquina debe retroceder hasta el punto de partida.

Por lo tanto, los trabajos se realizarían de la siguiente manera:

1. Puesta en vía única provisional del túnel.
2. Sostenimiento de muros, ampliación de la plataforma, paraguas de micropilotes, ejecución de falso túnel y relleno, en el emboquille de entrada.
3. Pantalla de protección, demolición y excavación del emboquille de salida (con protección de escudo metálico), además de paraguas de micropilotes y tratamientos del talud frontal en el que se iniciará la ampliación en mina.
4. Montaje de la máquina de ampliación de gálibos.
5. Ampliación del túnel hasta el encuentro con el falso túnel.
6. Retroceso de la maquinaria hasta posición inicial y desmontaje.

La sección ampliada planteada en el túnel de La Romera, con hastiales rectos, maximiza el ancho de paso de los equipos de extracción de tierras, que en cualquier caso deberían ser de perfil bajo, y con características adaptadas a los condicionantes que imperan en las labores de ampliación.



**Ilustración 262: Cargadora LHD para obras subterráneas (Fuente: Yepes, 2016)**

Adicionalmente, las secciones tipo de sostenimiento asociadas al empleo del equipo mecanizado de ampliación de gálibo se han adaptado, para incluir de forma generalizada (y en su mayor parte) en los sostenimientos tipo perfiles TH, por su menor peso y mayor manejabilidad en el frente de excavación, así como hormigón proyectado reforzado con fibras de acero.

Las actuaciones que permite este tipo de maquinaria pueden resumirse en las siguientes imágenes, aunque se recomienda observar el vídeo corporativo expuesto en las referencias (GTA Maschinensysteme GmbH, 2014):



**Ilustración 263: Demolición y excavación de la sección ampliada (Fuente: GTA, 2014)**



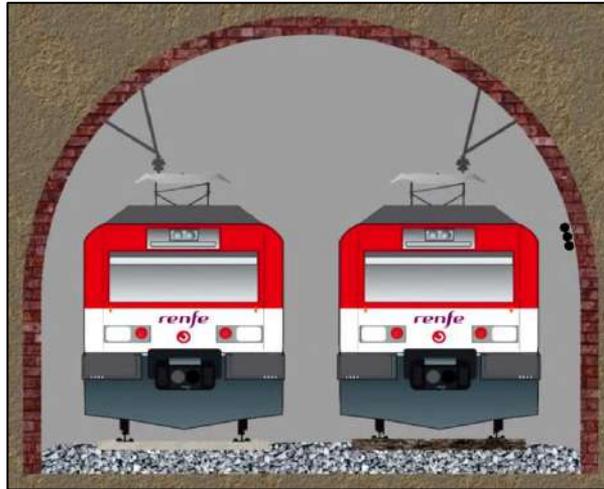
**Ilustración 264: Gunitado de bóveda y hastiales (Fuente: GTA, 2014)**



**Ilustración 265: Perforación (Fuente: GTA, 2014)**

Las situaciones provisionales a establecer pueden verse en estas fases constructivas que explica Adif en un vídeo sobre ampliación de gálibos en túneles, para los trabajos de ampliación en el tramo Astigarraga/Irún (Adif, 2017):

1. Situación actual:



**Ilustración 266: Estado actual del túnel (Fuente: Adif, 2017)**

2. Montaje de vía única provisional:



**Ilustración 267: Instalación de catenaria rígida central, paso de doble vía a vía única provisional central y cimentaciones guías de rodadura maquinaria TES (Fuente: Adif, 2017)**

3. Ampliación de la sección mediante la máquina TES y retirada del material entre la máquina y el hastial ampliado:



**Ilustración 268: Ampliación de la maquinaria TES (Fuente: Adif, 2017)**

4. Colocación del sostenimiento y sellado mediante hormigón proyectado:



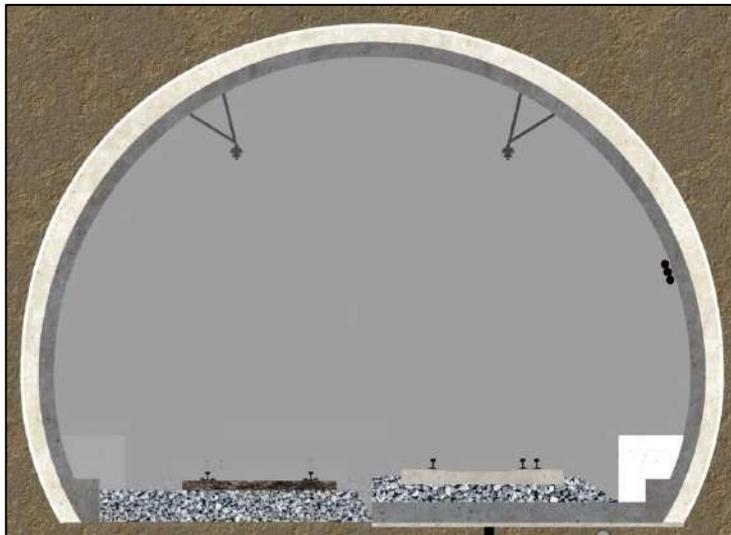
**Ilustración 269: Sellado y sostenimiento (Fuente: Adif, 2017)**

5. Revestimiento, catenaria definitiva en vía 1, desplazamiento de vía 1 provisional y hormigonado de losa y andén en vía 2:



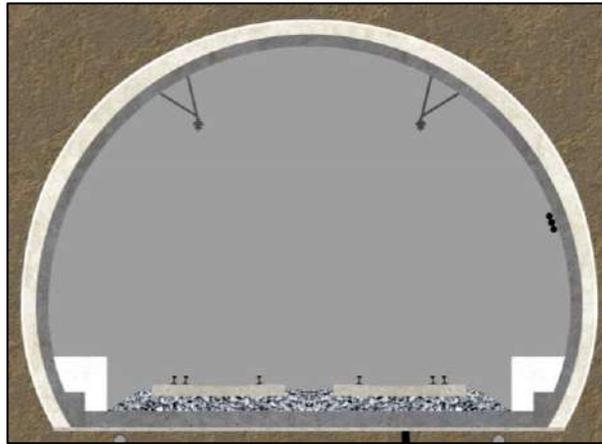
**Ilustración 270: Revestimiento, catenaria definitiva en vía 1, desplazamiento de vía 1 provisional, y hormigonado de losa y andén en vía 2 (Fuente: Adif, 2017)**

6. Montaje de vía 2 y catenaria definitiva:



**Ilustración 271: Montaje de vía 2 y catenaria definitiva (Fuente: Adif, 2017)**

## 7. Montaje de vía 1 definitiva y puesta en servicio:



**Ilustración 272: Montaje de vía 1 y puesta en servicio (Fuente: Adif, 2017)**

### 5.3.1.8. Plazo de ejecución

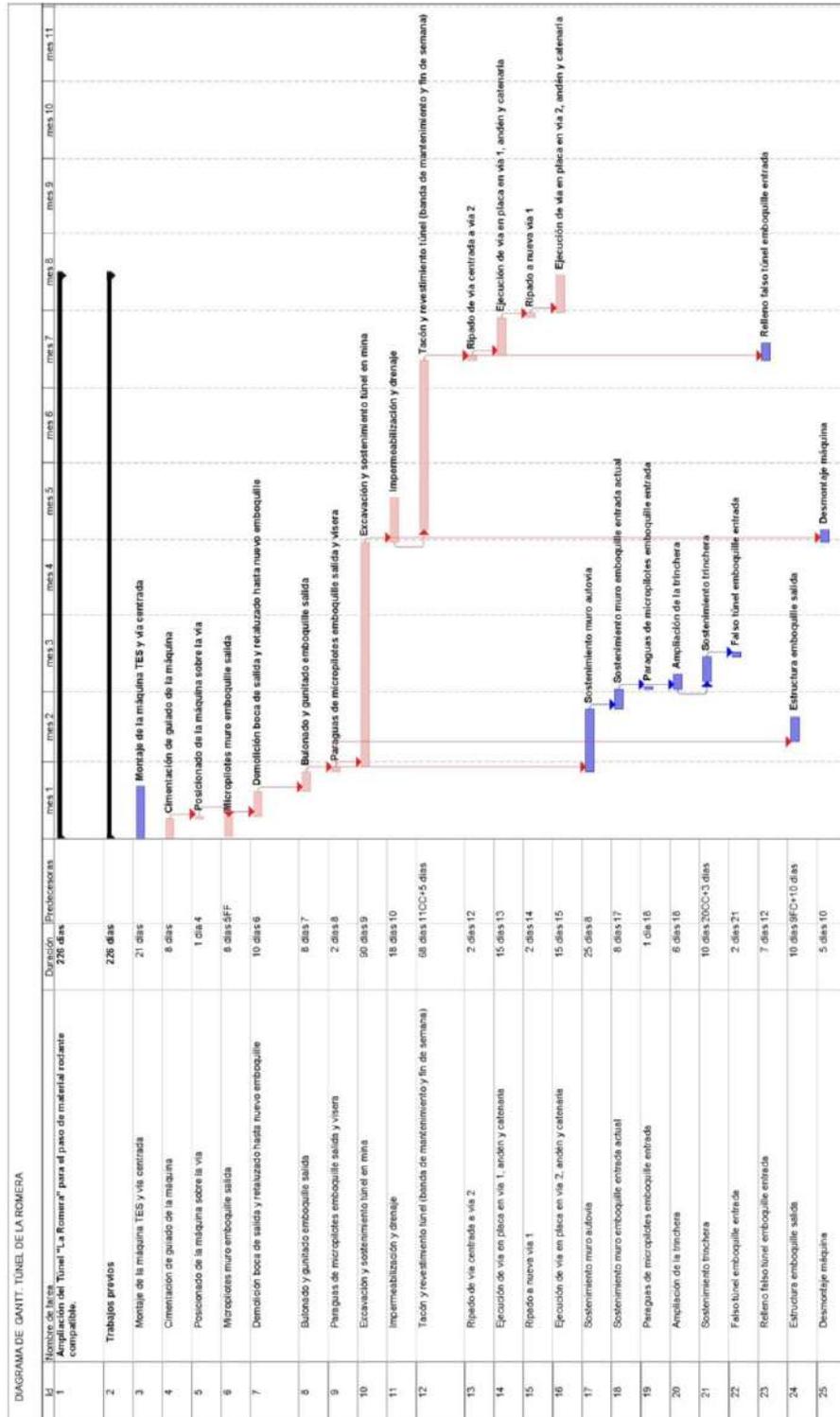
Comprar una máquina nueva TES que pueda dar servicio para la ampliación de los túneles de la línea supone una inversión inicial aproximadamente de 3 millones de euros, con un plazo de fabricación de 5 meses, una vez firmado el contrato de compra, y un plazo para el transporte a obra y montaje de 1 mes.

Si bien es cierto que la mayor parte de la obra puede realizarse sin cortes de vía, las situaciones provisionales y sus situaciones intermedias, necesitan de cortes de vía nocturnos y/o en fin de semana, para no afectar así al tráfico ferroviario o afectarlo lo mínimo posible.

Una vez posicionada la máquina en el nuevo emboquille, la actividad principal es la excavación y ejecución del sostenimiento tipo para ampliar la sección del túnel. Para estimar los plazos de ejecución, se han considerado unos rendimientos de acuerdo a los tiempos requeridos para excavar un avance y colocar el sostenimiento definido. Estas longitudes de avance vienen condicionadas por el terreno y la limitación de la máquina en avances superiores a metro y medio – 2 metros.

Aunque en un primer momento, se esperaban por parte de la máquina rendimientos en torno a los 6 m/día, según la experiencia recogida en el túnel de Gaintxurizketa, en la documentación de referencia (Adif Proyecto, 2020), el rendimiento objetivo esperado en el uso de esta máquina TES es de 3 m/día (máximo) en turnos de 24 horas (rendimientos mayores no se cree posible).

Con esta idea, y con la ejecución siguiendo las fases descritas con anterioridad, se ha realizado el siguiente Diagrama de Gantt que representa la ejecución total de la obra, en 7 meses y medio.



Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona.  
Ampliación del túnel "La Romera" para el paso de material rodante compatible.

### 5.3.1.9. Presupuesto

El presupuesto presentado se ha realizado con el fin de conocer una inversión aproximada que requerirá la actuación a llevar acabo y conocer así su viabilidad. Para ello, se ha utilizado la “Base de precios tipo para los proyectos de mantenimiento de plataforma, BPMP 2009” y la “Base de precios tipo para los proyectos de mantenimiento de vía, BPMV 2009”.

Este presupuesto se adjunta en el apartado “Presupuesto” y se localiza posterior a los “Planos”.

Una vez realizado el presupuesto, con las mediciones obtenidas de los elementos constructivos del modelo BIM, se obtiene lo siguiente:

Código	Descripción	Subtotal
Capítulo: 01	MOVIMIENTO DE TIERRAS	80.873,66
Capítulo: 02	TÚNEL	3.407.382,05
Capítulo: 03	VÍA	1.240.985,57
<b>Total Presupuesto Ejecución Material (PEM)</b>		<b>4.729.241,28</b>

Asciende el Presupuesto de Ejecución Material a la expresada cantidad de: CUATRO MILLONES SETECIENTOS VEINTINUEVE MIL DOSCIENTOS CUARENTA Y UN EUROS CON VEINTIOCHO CÉNTIMOS (**4.729.241,28 €**).

13 % Gastos Generales	614.801,37
6 % Beneficio Industrial	283.754,48
<b>Total Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)</b>	<b>5.627.797,13</b>
21 % I.V.A.	1.181.837,40
<b>Total Presupuesto Base de Licitación (PBL)</b>	<b>6.809.634,53</b>

Asciende el Presupuesto Base de Licitación a la expresada cantidad de SEIS MILLONES OCHOCIENTOS NUEVE MIL SEISCIENTOS TREINTA Y CUATRO EUROS CON CINCUENTA Y TRES CÉNTIMOS (**6.809.634,53 €**).

Como se puede observar, el PEM completo del proyecto por metro lineal de túnel (en los 300 metros de actuación) supone un total de 15.764 €/m. Obviando las actuaciones en vía, y dejando así únicamente la ejecución de la plataforma, el ratio es de **11.628 €/m**.

Este ratio se ha comparado con diferentes estimaciones de coste de bibliografía:

- ADIF, en su Base de Precios Tipo para los Proyectos de Plataforma del año 2008 (BPGP, 2008), incluye una lista de macroprecios para diferentes capítulos de obra civil, entre ellos el de túneles. En esta lista aparecen los precios de ejecución de túneles por metro lineal en función del índice RMR y de la sección de excavación (94 metros).

$$C (\text{€/m}) = 83,930 \times S - 148,189 \times \text{RMR} + 9578,304$$

$$C (\text{€/m}) \sim 11.540 \text{ €/m} \quad \text{si RMR} = 40$$

$$C (\text{€/m}) \sim 10.050 \text{ €/m} \quad \text{si RMR} = 50$$

$$C (\text{€/m}) \sim 8.575 \text{ €/m} \quad \text{si RMR} = 60$$

- En la tesis “Predicción del coste de la obra civil de un túnel ejecutado por métodos convencionales” (Sancho Moreno, 2013), se concluye lo siguiente:

	Sección (m2)	Coste ADIF (€/m)	Coste Tesina (€/m) RMR=40	Coste Tesina (€/m) RMR=50
40<RMR<60	80	8425	10365.144	8883.254
	100	11100	12043.744	10561.854
	105	11500	12463.394	10981.504
	115	12000	13302.694	11820.804

**Ilustración 273: Coste metro lineal en función de la sección y el RMR (Fuente: Sancho, 2013)**

- En la tesis “Estimación de coste y plazo en proyectos de túneles ejecutados mediante excavación convencional y voladura” (Puertas Herranz, 2010) se concluye lo siguiente:

Sección (m <sup>2</sup> )	€/m.l.
60	9.581,09 €
65	9.744,61 €
70	9.952,07 €
75	10.159,46 €
80	10.382,56 €
85	10.672,40 €
90	10.651,32 €
95	10.791,70 €

**Ilustración 274: Coste metro lineal de túnel en función de la sección (Fuente: Puertas, 2010)**

Viendo estas estimaciones en base a diferentes estudios publicados y siguiendo el criterio de ADIF (en su base de precios de proyectos de plataforma), puede determinarse que el ratio obtenido de coste por metro lineal en el túnel de La Romera está dentro de los valores bibliográficos.

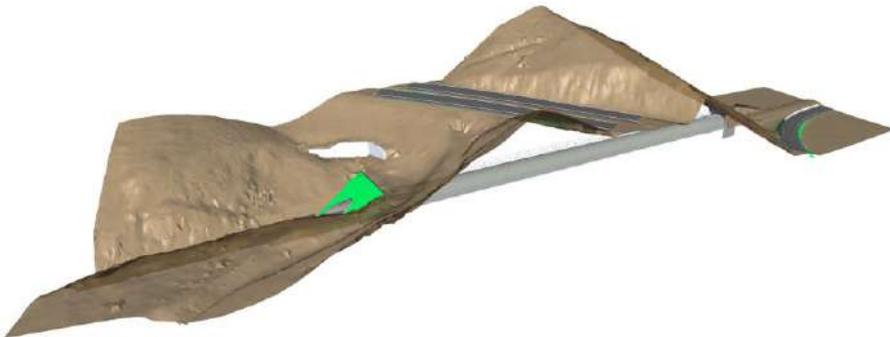
## 5.4. Modelo BIM

Como se viene evidenciando en el último apartado de este TFM, se ha realizado un modelo BIM de la actuación del túnel para poder analizar tanto la situación actual, necesidades, problemáticas, así como una gran cantidad de utilidades para comprender y mejorar el diseño final constructivo de la solución.

Son muchos los usos para los que, tanto en fase preliminar como en fase final, el modelo ha sido una referencia y una continua progresión:

- Generación de superficie topográfica a partir de datos LIDAR.
- Análisis del estado actual del túnel mediante nube de puntos.
- Georreferenciación geométrica a partir de la nube de puntos.
- Estudio de gálibos 3D.
- Preconstrucción digital de la actuación mediante el modelado de todos los elementos constructivos (cerchas, bulones, paraguas de micropilotes, traviesas, andenes, etc.).
- Estudio de interferencias entre elementos constructivos.
- Generación automática de planos constructivos.
- Procedimiento constructivo (4D).
- Mediciones y presupuesto (5D).
- Visualización mediante imágenes, vídeos, realidad virtual, etc.

Para llevar a cabo esto, se han utilizado los softwares Istram, Cloud Compare (software libre), ReCap, Revit, Navisworks Manage, AutoCAD, MS Project, Menfis y Lumion, entre otros.

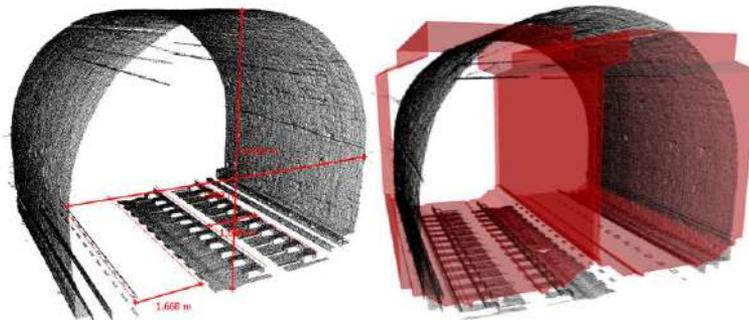


**Ilustración 275: Modelo completo del túnel de La Romera (Fuente: Elaboración propia)**

#### 5.4.1. Nube de puntos del túnel

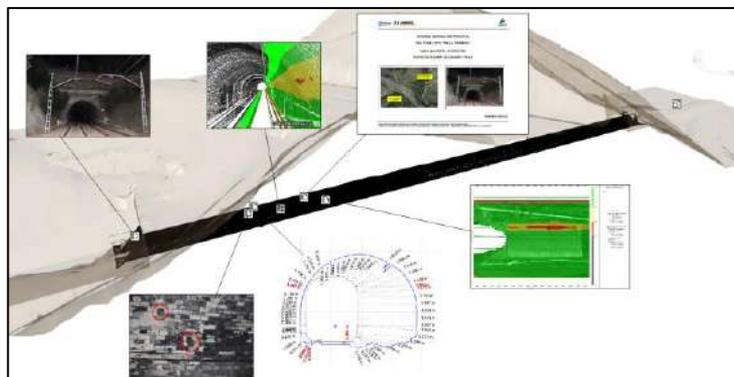
Como se ha plasmado con anterioridad, la nube de puntos del estado actual del túnel ha sido una información de partida clave para poder desarrollar este TFM tanto desde el punto de vista geométrico de los elementos como de la vía, bóveda y hastiales, radios, determinación de tratamientos existentes, etc.

En base a esta nube de puntos se ha podido encajar geoméricamente la nueva sección del túnel ampliado, aportar soluciones a los emboquilles y determinar así la excavación a realizar para cumplir con las necesidades de operación futura.



**Ilustración 276: Determinación geométrica y estudio de gálibos mediante la nube de puntos**  
(Fuente: Elaboración propia)

Además, a la nube de puntos, en el modelo 3D de coordinación, se le ha asociado la información disponible de la inspección de modo que, pinchando en los enlaces visibles, el propio modelo te redirecciona y te abre el archivo que deseas ver, tales como el vídeo realizado para analizar el gálibo existente, imágenes de la inspección, los perfiles del estado actual, el informe de inspección principal, ubicación de Google Maps, etc.



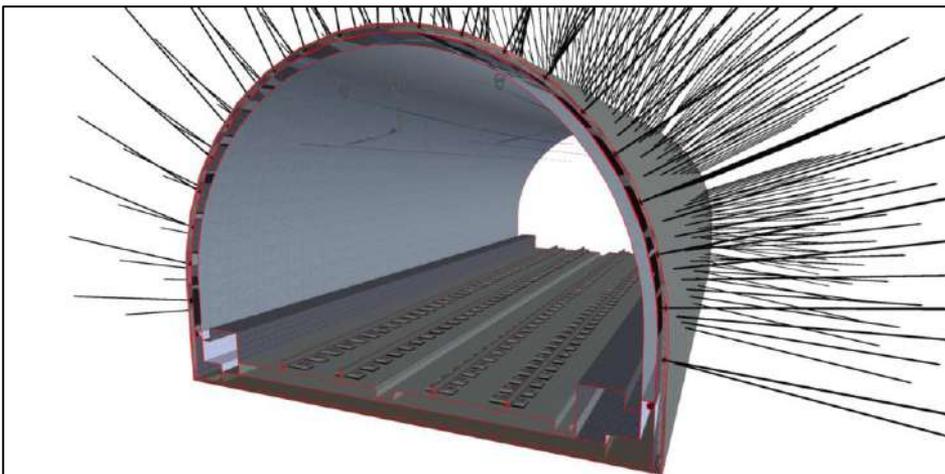
**Ilustración 277: Vinculación de información a la nube de puntos** (Fuente: Elaboración propia)

#### 5.4.2. Modelo BIM del túnel con soluciones proyectadas

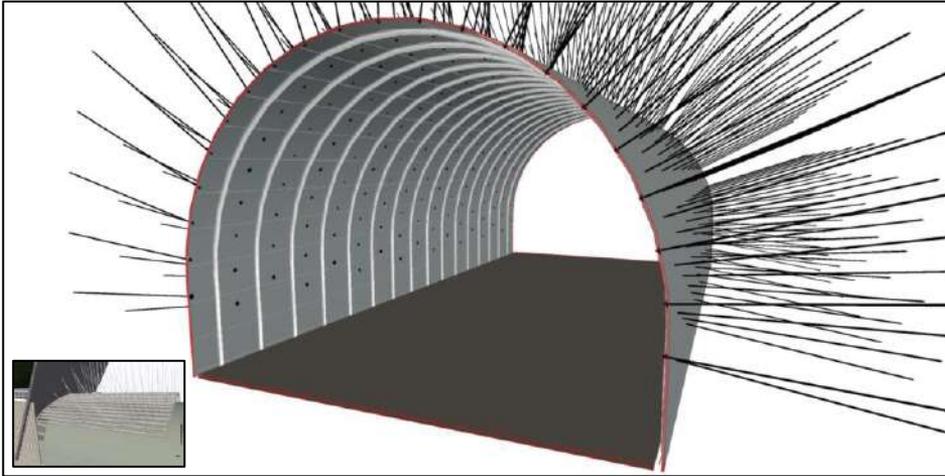
Para poder llevar a cabo todos los usos que se han descrito, con alto nivel de detalle, se han modelado todos los elementos constructivos de la actuación tales como excavaciones, rellenos, bulones de acero corrugado, bulones de expansión, cerchas metálicas tipo HEB-160 y TH-21, hormigón proyectado, chapa Bernold, revestimiento, paraguas de micropilotes de emboquille, muro de micropilotes, vigas prefabricadas, muros de hormigón, andenes, postes de catenaria y cableado, traviesas monobloque y bibloque, vía en placa, carriles, etc.



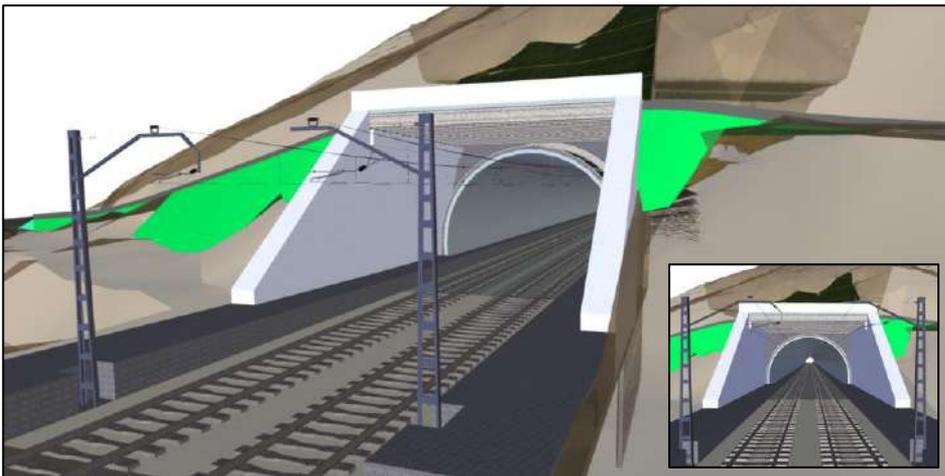
**Ilustración 278: Modelo completo del emboquille de entrada (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 279: Modelo BIM con todos los elementos (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 280: Sostenimiento del modelo BIM (Fuente: Elaboración propia)**



**Ilustración 281: Modelo completo del emboquille de salida (Fuente: Elaboración propia)**

#### 5.4.3. Asociación información comercial y/o constructiva

De igual como que se ha realizado con la información asociada a la nube de puntos, para obtener un modelo “rico” de información, se ha introducido a partir de *links* una serie de documentación relacionada con el proyecto como la ubicación, normativa ferroviaria, fichas técnicas de elementos constructivos, etc.

Con ello, se consigue que los elementos estén identificados con una serie de documentación adicional que enriquece el modelo con toda la información que desees.



**Ilustración 282: Vinculación de información al modelo (Fuente: Elaboración propia)**

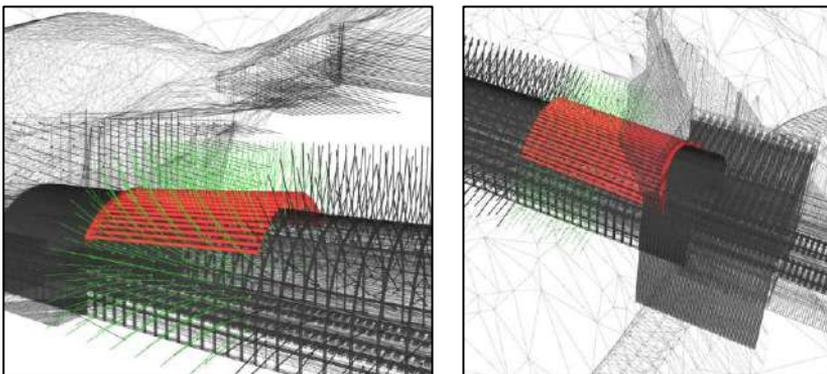
#### 5.4.4. Detección de colisiones entre elementos

Una de las ventajas que aporta la pre construcción digital de un proyecto es la detección de colisiones entre elementos constructivos.

Si bien, casi la totalidad de los elementos se han pre construido con la idea de que no existan estas interferencias entre sí, existen ciertas colisiones que se aprueban dado que el conflicto se debe al nivel de detalle de modelado. Otros, en cambio, se deben a colisiones entre el paraguas de micropilotes y los bulones, que deben ser resueltas en obra, aunque se encuentren ya detectadas en esta fase.

El informe completo de conflictos se exporta como un archivo “.html” que puede visualizarse desde cualquier tipo de dispositivo. Te informa mediante una imagen y diversa información de los conflictos existentes.

Las colisiones que se han detectado con el estudio de “Clash Detection” más importantes son las siguientes:



**Ilustración 283: Detección de colisiones en modelo BIM (Fuente: Elaboración propia)**

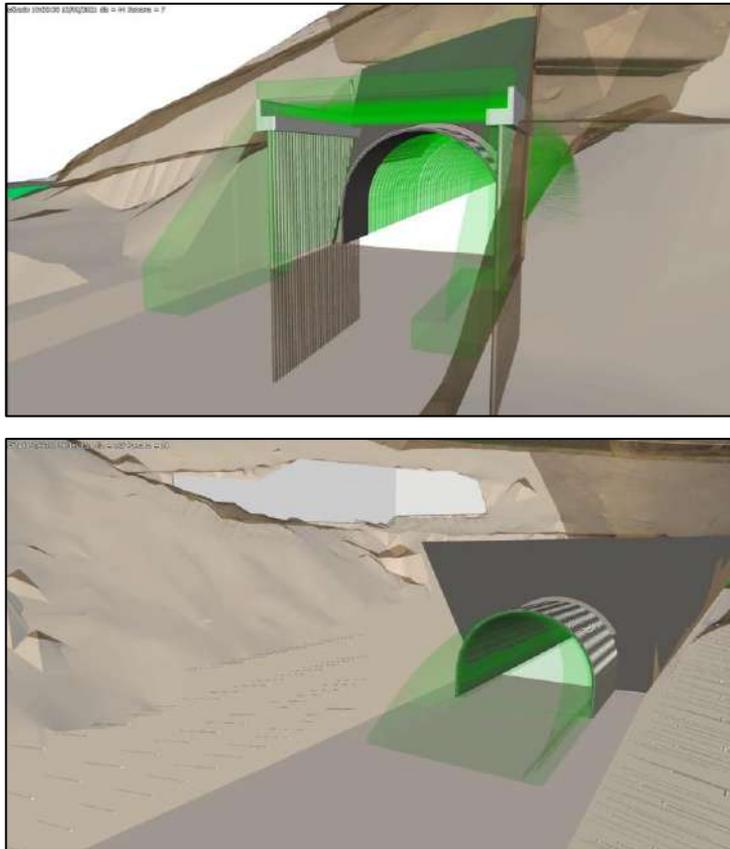
### Informe de conflictos

Sostenimiento vs sostenimiento		Tolerancia	Conflicto	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
		0.030m	2	0	0	0	2	0	0	Estático/Aceptar
Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Fecha de detección	Punto de conflicto	ID de elemento	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo
	Conflicto1	Revisado-0.039	Estático		2020/7/3_07:53	x:597966.833, y:4574890.704, z:624.187	ID de elemento: 872541	<Sin nivel>	Bulones	Sostenimiento
Conflicto2	Revisado-0.036	Estático		2020/7/3_07:53	x:598185.888, y:4574967.448, z:620.525	ID de elemento: 872965	<Sin nivel>	Bulones	Sostenimiento	
		ID de elemento	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	ID de elemento	Capa	Elemento Nombre	Elemento Tipo	
		178117	<Sin nivel>	Paraguas de micropilote	Sostenimiento	178117	<Sin nivel>	Paraguas de micropilote	Sostenimiento	
		552271	<Sin nivel>	Paraguas de micropilote	Sostenimiento	552271	<Sin nivel>	Paraguas de micropilote	Sostenimiento	

#### 5.4.5. Procedimiento constructivo (4D)

Partiendo del Diagrama de Gantt generado con Microsoft Project para conocer el plazo de ejecución de la obra, se les ha asignado a los elementos constructivos del modelo dicha planificación de obra, de modo que mediante un vídeo se refleja la sucesión constructiva.

De esta manera, puede verse mediante el modelo si la planificación de la obra es la adecuada o si es necesario cambiar algún proceso para hacerlo más eficiente y/o más seguro.



**Ilustración 284: Procedimiento constructivo con el modelo BIM (Elaboración propia)**

#### 5.4.6. Planos

Como se puede observar en los planos adjuntados en este TFM, estos se han obtenido directamente del modelo BIM, reduciendo drásticamente el tiempo de elaboración de estos.

## 6. Conclusiones

Las políticas de los distintos gobiernos españoles siempre han tenido en cuenta que el transporte por ferrocarril se trata de un modo de transporte esencial en la sociedad española actual, seguro y con escasa incidencia en el medio ambiente y el consumo energético, pero las cuotas modales del transporte de mercancías por ferrocarril son muy bajas con respecto al modo por carretera en la actualidad.

En los últimos años, existe una predisposición del Gobierno por mejorar la eficiencia del transporte de mercancías en España con el fin de integrar y potenciar las mercancías por ferrocarril en la cadena logística europea, impulsando las Redes Transeuropeas del Transporte, bajo los mismos criterios promovidos por Europa.

La Comisión Europea, con esta idea, pretende la interconexión de todos los países europeos mediante el ferrocarril de forma eficiente, como una puesta de un sistema de transporte más descarbonizado, más amigable con el medio ambiente, conectado con otros modos de transporte, cambiando el reparto modal hacia un transporte más seguro, eficiente, fiable, cómodo y sostenible. Tanto es así que en el año 2011 se proponía conseguir para el año 2030 transferir a otros modos como el ferrocarril o la navegación fluvial el 30% del transporte de mercancías por carretera, y el 50% en el año 2050. De esta forma se conseguiría reducir un 80-95 % las emisiones por debajo de los niveles de 1990.

Para ello, ofrece una serie de mecanismos como “Conectar Europa” que ayuda a financiar los proyectos que tenga los objetivos alineados con las nuevas políticas europeas hacia una movilidad conectada, sostenible, integradora y protegida; y una serie de estrategias como “The European Green Deal” en el que se propone convertir a Europa en un territorio neutral de emisiones en el año 2050.

Pero para llegar a conseguir estos objetivos es necesario potenciar algunos servicios que hoy en día existen, y no se han llegado a promover en todos los países de la UE. La eficiencia del transporte de mercancías pasa por soluciones multimodales basadas en el ferrocarril para el largo recorrido.

Esta situación se ha visto incrementada en la actualidad por la crisis sanitaria mundial en la que se ha visto inmersa Europa. Diversas organizaciones públicas y privadas se han hecho eco para que el próximo presupuesto de la UE integre el ferrocarril como un elemento decisivo para la recuperación de Europa tras el impacto de la Covid-19. Reclaman que el mecanismo de Conectar Europa (CEF 2), la próxima generación de fondos estructurales y el programa Horizonte Europa, adopten una estrategia “correcta” para el transporte en los próximos años y sitúen el ferrocarril como elemento central del sistema de transporte europeo, la columna vertebral de la movilidad del mañana siendo necesario ampliar el CEF 2 asignando más recursos presupuestarios para lograr una rápida transición hacia una movilidad ecológica y sostenible, ya que garantizan el transporte seguro y fiable de personas y mercancías, incluso en medio de crisis sanitarias como la derivada de la COVID-19. Afirman que la inversión en los recursos y las

tecnologías adecuadas que permitan maximizar la capacidad de la infraestructura ayudará a que el transporte de mercancías por ferrocarril alcance su verdadero potencial. Y así parece que ocurrirá. La Comisión Europea ha sacado un nuevo instrumento denominado “Next Generation EU” que se despliega en tres pilares fundamentales: ayudar a los Estados miembros a recuperarse, relanzar la economía y apoyar la inversión privada, así como aprender de la experiencia de la crisis, con unos objetivos muy relacionados con las oportunidades que ofrece el transporte de mercancías por ferrocarril como la transición ecológica y digital, cohesión de los territorios y una transición ecológica hacia una economía climáticamente neutra.

Lo cierto es que para convertir el transporte de mercancías en una solución atractiva para los operadores hay que realizar una serie de esfuerzos por parte del Gobierno y de Europa tales como la mejora de la infraestructura, ser más atractivo en coste, potenciar la intermodalidad, eliminar los grandes obstáculos en infraestructura existente o la colaboración de diferentes organismos para hacer posible esta realidad.

En este ámbito de potenciación de la intermodalidad y de la coordinación internacional, el Parlamento Europeo marcaba unos Corredores de Mercancías orientados al mercado internacional entre los que se encuentra la línea convencional Madrid-Zaragoza-Barcelona, dentro del Corredor Mediterráneo. Es por ello por lo que en este TFM se ha creído conveniente convertir esta línea en una Autopista Ferroviaria que ofrezca servicio intermodal. Tanto es así que en los primeros meses del año 2020 el Gobierno ha declarado proyecto estratégico y prioritario la Autopista Ferroviaria Puerto de Algeciras-Madrid-Zaragoza Plaza, también afirmado por Adif como un proyecto importante para el transporte de mercancías.

En base a esto, y para justificar esta decisión, se ha realizado un estudio de demanda, un análisis del trasvase modal y un estudio económico-financiero para analizar la viabilidad de la Autopista Ferroviaria.

Se ha comprobado que, aunque pequeñas variaciones en la tarifa conllevan grandes variaciones relativas en la demanda captada, para obtener unos porcentajes de captación acorde a los objetivos perseguidos por Europa es necesario mejorar todos los atributos del modelo de elección modal, mejorando y potenciando el ferrocarril como modo de transporte más eficiente y sostenible. En este caso, para llegar a conseguir un 50% de trasvase modal en el año horizonte (2050), para largas distancias como España-Bélgica o España-Alemania, la tarifa debería ser de 0,4 €/km, siendo inviable conseguir un traspaso de tráfico en los términos que se buscan para distancias como Madrid-Barcelona, a no ser que influyan variables que no figuran en el modelo de utilidad usado en este TFM, tales como acuerdos como el realizado entre la Autoridad Portuaria de Algeciras y Zaragoza Plaza, o subvenciones a las empresas para el uso de este modo de transporte.

Además, se ha obtenido que:

- De las tarifas estudiadas, con la que mayor demanda se capta a lo largo de los años es con la menor de ellas, con la tarifa de 0,1 €/km.

- 
- En cambio, del rango de tarifas, se observa que el mayor ingreso que se obtiene en base a la demanda captada y su tarifa es con una cantidad de 0,4 €/km, pese a tener una menor captación de tráfico, decreciendo el ingreso tanto si aumenta la tarifa como si disminuye.

Para el estudio económico-financiero se ha utilizado cuatro tarifas diferentes, en función de los resultados que aportaban:

- Tarifa 0,1 €/km: tarifa que consigue el mayor trasvase modal.
- Tarifa 0,4 €/km: tarifa que consigue el mayor ingreso.
- Tarifa 0,5 €/km: tarifa que consigue la mayor rentabilidad.
- Tarifa 0,75 €/km: tarifa actual de referencia.

Cada uno de estos casos presenta una Tasa Interna de Retorno (TIR) diferente. Cuanto mayor es la TIR, más rentabilidad ofrece el proyecto y, por lo tanto, más opciones hay de que un proyecto se lleve a cabo.

- Tarifa 0,1 €/km: inviable. Los gastos superan en gran medida los ingresos.
- Tarifa 0,4 €/km: TIR del 11,01 %.
- Tarifa 0,5 €/km: TIR del 12,99 %.
- Tarifa 0,75 €/km: TIR del 10,90 %.

Como se puede observar, la tarifa que genera más demanda no es viable económicamente por el escaso ingreso que genera y la tarifa que maximiza ingresos no es la tarifa que más rentabilidad genera, siendo ésta la tarifa de 0,5 €/km.

Dado que la inversión a realizar, tanto en infraestructura como en terminales y material rodante, es muy elevada y no llegaría a ser rentable de otra manera, para llegar a obtener estas rentabilidades ha sido necesario modelizar el cálculo financiando la inversión de la siguiente manera:

- Aportación UE a fondo perdido (subvención) del 70% para los cuatro primeros años, para la inversión en infraestructura, terminales y material rodante. Porcentaje similar a los proyectos de estas características.
- Capital propio: 12% de capital.
- Deuda: 18% de deuda.

Es importante remarcar la necesidad de financiar el proyecto mediante una aportación a fondo perdido para poder ofrecer un servicio que cumpla con el trasvase modal objetivo y que sea rentable, con uno de los mecanismos descritos.

Además, analizando los resultados de TIR en función de la tarifa, se plantea una pregunta. ¿Es mejor escoger una tarifa de 0,4 €/km que genera más trasvase modal pero menor rentabilidad? O, ¿es mejor escoger una tarifa de 0,5 €/km que genera menos

---

trasvase modal, pero es más fácilmente financiable? En realidad, sería importante encontrar un punto intermedio que maximice la rentabilidad para que pueda ser un proyecto financiable y logre un trasvase modal importante conforme a los objetivos buscados con el proyecto.

Realmente, en este momento que atravesamos donde se están replanteando muchas de las cosas que se realizaban hasta hoy, sería un buen momento para apostar por el ferrocarril de mercancías y dar un paso adelante como lo han hecho otros países europeos en cuanto a la potenciación de este modo de transporte que se alinea con los objetivos perseguidos por Europa.

Tras analizar la viabilidad de la Autopista Ferroviaria y estudiar las necesidades que conllevan este tipo de servicios, se planteaba la problemática de resolver la limitación de infraestructura en materia de gálibos. Para ello, se ha propuesto una solución acorde a las necesidades para ampliar el túnel de “La Romera”, uno de los túneles existentes en la línea cuya fecha de construcción fue del año 1864.

Para llevar a cabo la ampliación, se han utilizado tecnologías y metodologías novedosas en el campo de la ingeniería civil como las nubes densas de puntos para estudiar el estado actual del túnel y, la metodología BIM a un nivel de detalle necesario para el diseño constructivo de todos los elementos, analizar su inversión y su planificación constructiva. Para ello, ha sido necesario disponer de información actualizada del túnel (proporcionada por Adif). Se han realizado las siguientes actividades:

- Análisis geométrico y de estado actual del túnel existente mediante el tratado de una nube densa de puntos 3D con la información necesaria, proporcionado por Adif.
- Procesado de datos LIDAR (nube de puntos 3D) para la generación de la topografía de la zona de estudio.
- Estudio del estado actual del túnel y emboquilles a partir del informe de inspección proporcionado por Adif con fecha febrero de 2020.
- Análisis de las limitaciones de gálibo existentes y su necesidad de ampliación en un estudio de gálibos 3D.
- Estudio del contexto geotécnico para abordar la ampliación del túnel.
- Diseño de la sección tipo en galería a disponer conforme a los usos previstos y diseño de los emboquilles en función de las fases constructivas.
- Dimensionamiento de los sostenimientos a disponer durante la ejecución, así como de las soluciones constructivas en emboquilles.
- Análisis del método constructivo mediante el uso de un sistema mecanizado innovador en Europa con una máquina denominada TES (Tunneling Enlargement System) que permite ejecutar la obra sin afectación al tráfico ferroviario, permitiendo circular por el interior de dicha máquina.

- Modelado BIM del túnel de todos los elementos constructivos.
- Plazo de construcción (7,5 meses) mediante una simulación constructiva 3D.
- Presupuesto con un total de inversión de 4.729.241,28 € (PEM).
- Detección de colisiones de los elementos constructivos.
- Planos automáticos generados del modelo BIM.

## 7. Futuras líneas de trabajo

Como futuras líneas de trabajo para el desarrollo de futuros estudios complementarios a éste, se plantea lo siguiente:

- Aunque se ha utilizado el modelo de utilidad (para calcular el trasvase modal) obtenido en base a las Preferencias Declaradas descritas en el “Estudio para el desarrollo de autopistas ferroviarias en la Península Ibérica” es importante remarcar que es un modelo que tiene ciertas constantes muy altas en comparación con otros coeficientes, lo que significa que la elección modal se mueve por otras variables que no están consideradas en el modelo y que serían conveniente conocer. Además, es un modelo cuya formulación se mantiene invariable, lo cual no sería cierto dado que las preferencias declaradas se convertirían en reveladas a partir de experimentar la realidad del servicio

Si bien, no ha habido datos suficientes disponibles como para realizar otro modelo propio, una futura línea de trabajo sería plantear un modelo estimado propio a partir de otra fuente de datos (como los resultados obtenidos en las Autopistas Ferroviarias existentes en España en la actualidad), buscando información y calibrando dicho modelo.

- A fecha de publicación de este TFM, el Gobierno de España, junto con el resto de los países de la UE, se encontraba en plenas negociaciones para repartir los fondos previstos por el plan de recuperación tras la crisis sanitaria. Una futura línea de trabajo sería determinar si con estos fondos, y el resto de las herramientas de financiación que ofrece la UE, el proyecto sería financiable bajo la propuesta de financiación realizada en este TFM.
- De forma complementaria a este TFM y al análisis de ampliación del túnel de “La Romera”, podría realizarse o completarse con el estudio del resto de los túneles de la línea (de similares características), con el fin de evaluar de forma global tanto la viabilidad constructiva como de costes u operaciones, entre otros. De esta forma, podría analizarse la inversión real a realizar para adecuar la línea a los gálibos exigidos por el nuevo servicio.

- Dado que únicamente hay una referencia en España en la cual se ha empleado la máquina tuneladora TES, además sin ser un caso de éxito como tal, sería conveniente estudiar las conclusiones que se saquen finalmente de la obra de ampliación del túnel de Loyola y lo que resta del túnel de Gaintzurizketa. Así, podrían cotejarse los rendimientos obtenidos, la idoneidad del uso de este tipo de maquinaria u otros factores interesantes para la ampliación de más túneles en España.

# Planos

## **0.- ÍNDICE DE PLANOS**

### **1.- MAPA FERROVIARIO ESPAÑOL. LÍNEA MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA**

### **2.- PLANTA DE SITUACIÓN**

### **3.- PLANTA DE CONJUNTO**

### **4.- PLANTA GENERAL**

### **5.- PERFIL LONGITUDINAL**

### **6.- SECCIONES TIPO**

6.1.- TÚNEL ACTUAL CON EL GÁLIBO A FUTURO

6.2.- SECCIÓN TIPO AMPLIADA. TÚNEL EN MINA

6.3.- EXCAVACIÓN Y DEMOLICIÓN DE LA SECCIÓN. TÚNEL EN MINA

6.4.- SECCIÓN TIPO EN ESTRUCTURA – EMBOQUILLE DE SALIDA

6.5.- SECCIÓN TIPO EN TRINCHERA – EMBOQUILLE DE ENTRADA

### **7.- SECCIONES CADA 20 METROS**

### **8.- PERFIL CONSTRUCTIVO**

### **9.- SOSTENIMIENTOS**

### **10.- EMBOQUILLE DE ENTRADA**

### **11.- EMBOQUILLE DE SALIDA**

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO Nº	TÍTULO
0.-	ÍNDICE DE PLANOS
1.-	MAPA FERROVIARIO ESPAÑOL. LÍNEA MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA
2.-	PLANTA DE SITUACIÓN
3.-	PLANTA DE CONJUNTO
4.-	PLANTA GENERAL
5.-	PERFIL LONGITUDINAL
6.-	SECCIONES TIPO
6.1.-	TÚNEL ACTUAL CON EL GÁLBO A FUTURO
6.2.-	SECCIÓN TIPO AMPLIADA. TÚNEL EN MINA
6.3.-	EXCAVACIÓN Y DEMOLICIÓN DE LA SECCIÓN. TÚNEL EN MINA
6.4.-	SECCIÓN TIPO EN ESTRUCTURA - EMBOQUILLE DE SALIDA
6.5.-	SECCIÓN TIPO EN TRINCHERA - EMBOQUILLE DE ENTRADA
7.-	SECCIONES CADA 20 METROS
8.-	PERFIL CONSTRUCTIVO
9.-	SOSTENIMIENTOS
10.-	EMBOQUILLE DE ENTRADA
11.-	EMBOQUILLE DE SALIDA



**Universidad Europea**  
UNIVERSIDAD EUROPEA

TÍTULO: ESTUDIO PARA EL DESARROLLO DEL ALZAROLA  
AMPLIACIÓN DE TUBO LA BARRERA PARA EL PASADIZO  
MATERIALIZANTE COMPACTIBLE

AUTOR DEL ESTUDIO: MARCOS RODRÍGUEZ BERNABÉ  
DIRECTORES: JUAN CARLOS GUERRA, MIRA, JOSÉ GARCÍA Y OLIVERA GONZÁLEZ

ESCALA:  
SE  
Número

Datos



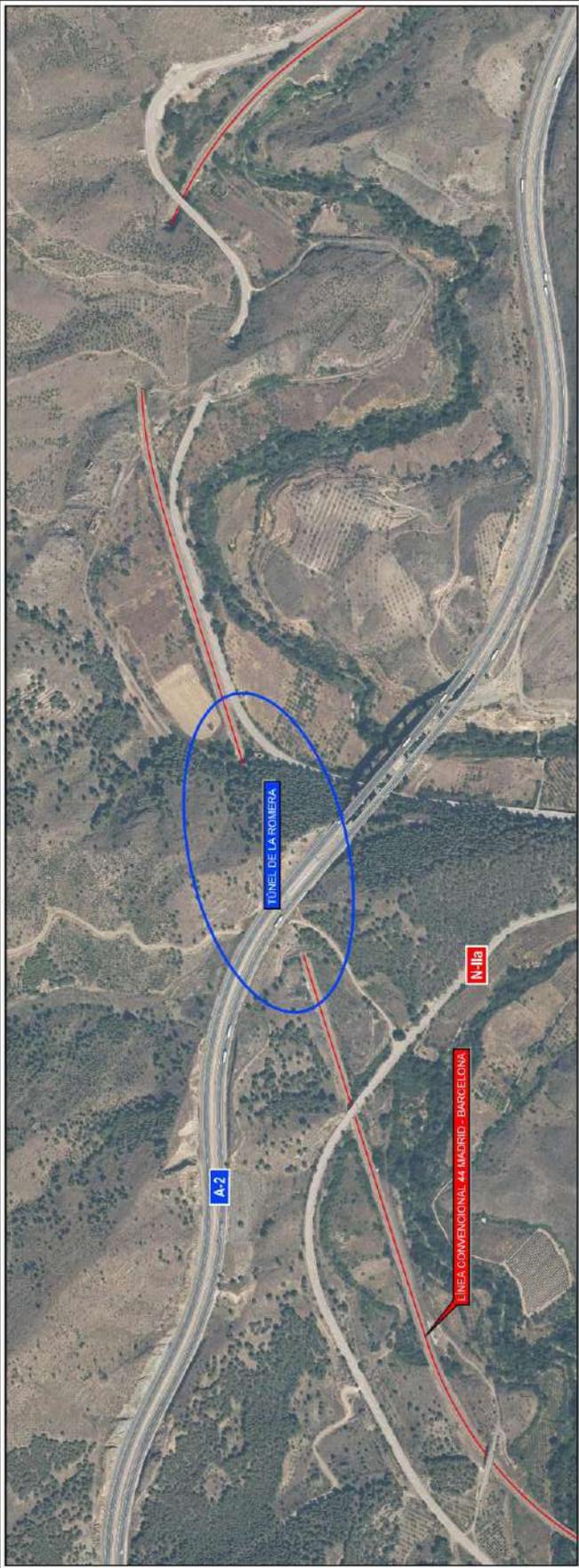
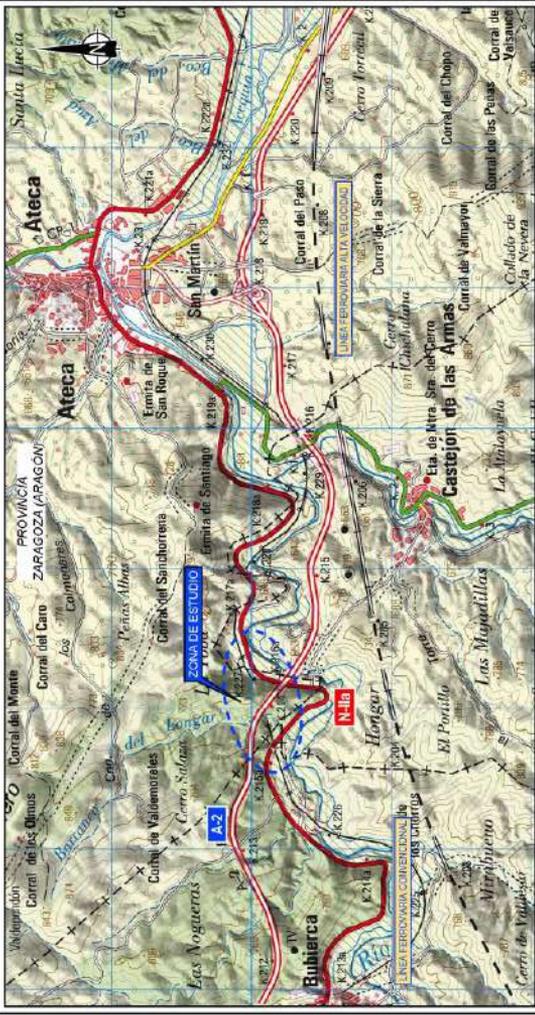
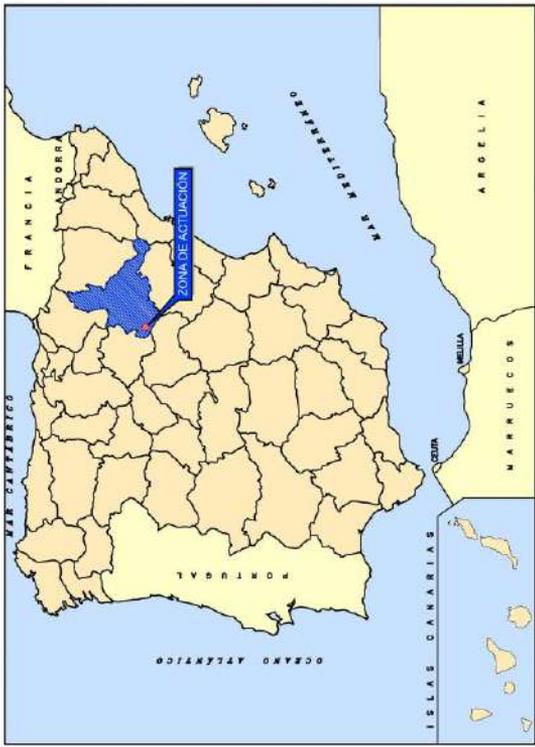
FECHA: JULIO 2020

TÍTULO DEL PLANO

ÍNDICE DE PLANOS

HOJA Nº 1 DE 1





**Universidad Europea**  
UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

TÍTULO: ESTUDIO DE LAS OBRAS DE MAJESTRIA  
 ESCALA: 1:50000  
 AMPLIACIÓN DE: TUBO "LA ROMERA" PARA EL PASO DE  
 MATERIAL PODANTE COMPATIBLE

AUTOR DEL ESTUDIO: MANCOS RODRIGUEZ GERRANO  
 DIRECTORES: JUAN CARLOS OLIVERA, IMMA JOSE GAGO Y OLIVA GONZALEZ

ESCALA:  
 Número: 0 1000

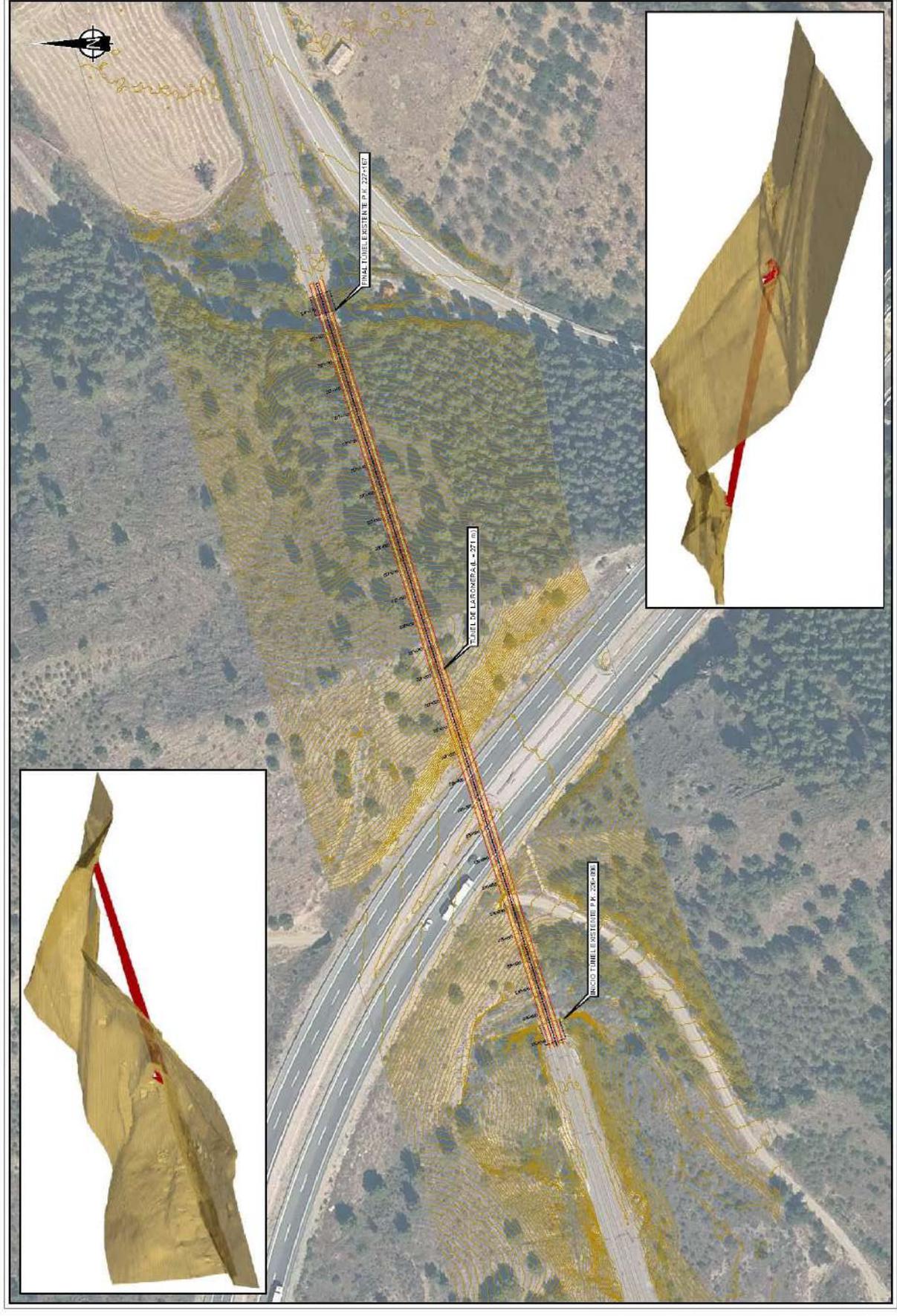


FECHA: JULIO 2020

TÍTULO DEL PUNTO: PLANTA DE SITUACION

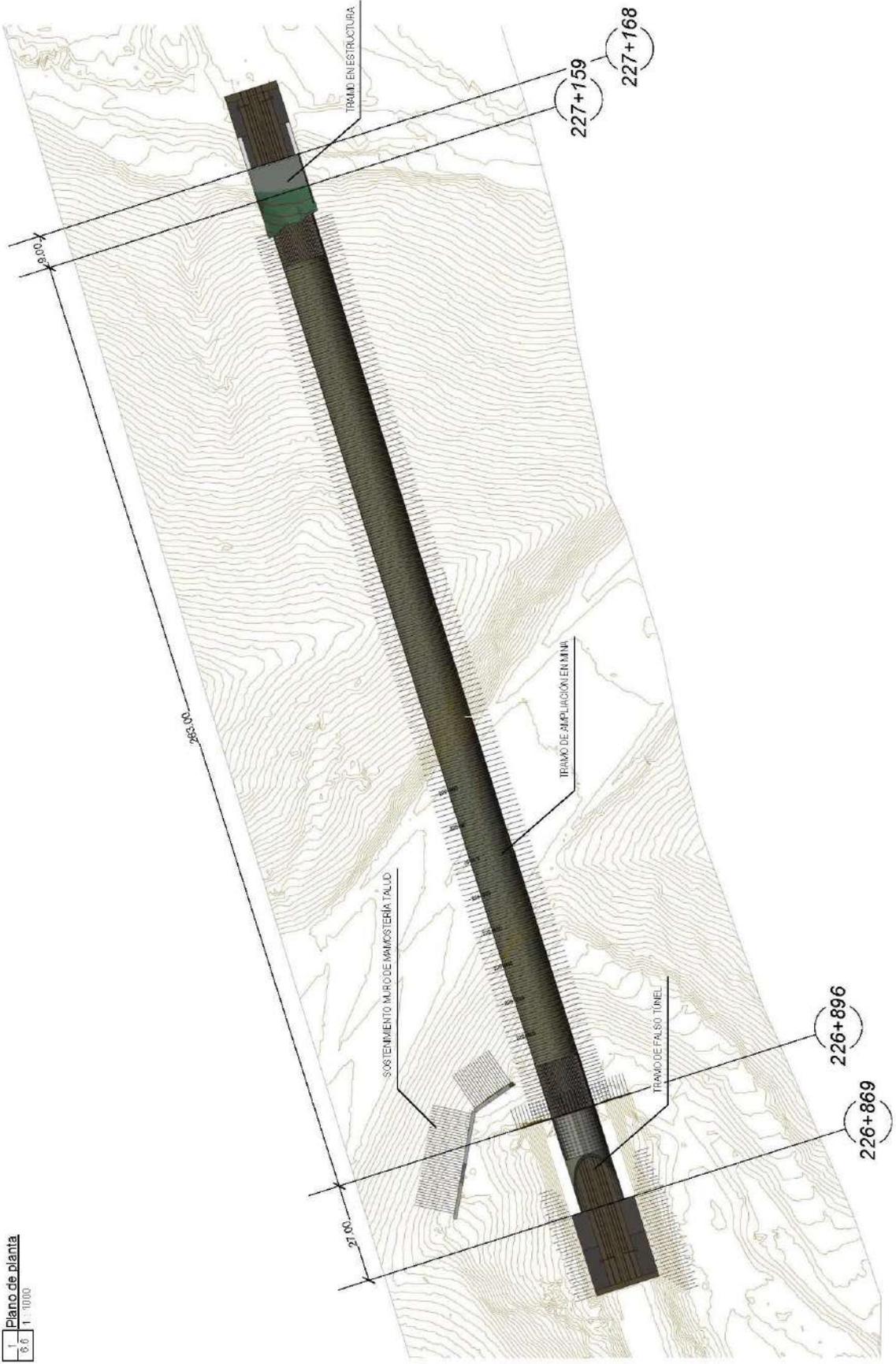
HOJA: 2

de 1 de 1

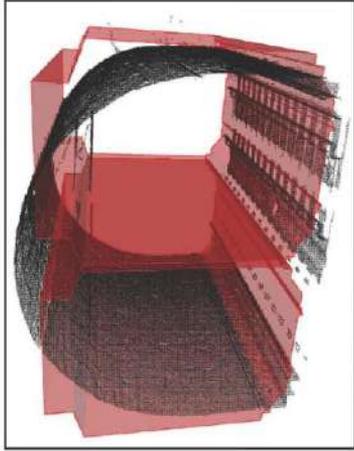


 <b>Universidad Europea</b> <small>AMBOSÉ - 28015 - MADRID - ES</small>	<b>TÍTULO</b> ESTUDIOS PARA EL DISEÑO DEL PLAN DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN Y REFORMA DEL ANILLO PERIFÉRICO DE LA CIUDAD DE MADRID PARA EL PASO DE MATERIAL GRAVE EN SENTIDO SUR	<b>ACTOR DEL ESTUDIO</b> INGENIEROS DE OBRAS CIVILES S.L.	<b>EDICIÓN</b> INGENIEROS DE OBRAS CIVILES S.L.	<b>FECHA</b> JULIO 2020	<b>TÍTULO DEL PLANO</b> PLANTA DE CONJUNTO	<b>NÚMERO DEL PLANO</b> 3
	<b>DIRECCIONES</b> JUAN CARLOS GUERRA, INÉS LOPE GARCÍA Y OMBRA GONZÁLEZ	<b>ESCALA</b>		<b>FECHA</b> JULIO 2020	<b>TÍTULO DEL PLANO</b> PLANTA DE CONJUNTO	<b>NÚMERO DEL PLANO</b> 3
<b>TÍTULO</b> ESTUDIOS PARA EL DISEÑO DEL PLAN DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN Y REFORMA DEL ANILLO PERIFÉRICO DE LA CIUDAD DE MADRID PARA EL PASO DE MATERIAL GRAVE EN SENTIDO SUR	<b>DIRECCIONES</b> JUAN CARLOS GUERRA, INÉS LOPE GARCÍA Y OMBRA GONZÁLEZ	<b>ESCALA</b>		<b>FECHA</b> JULIO 2020	<b>TÍTULO DEL PLANO</b> PLANTA DE CONJUNTO	<b>NÚMERO DEL PLANO</b> 3
<b>TÍTULO</b> ESTUDIOS PARA EL DISEÑO DEL PLAN DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN Y REFORMA DEL ANILLO PERIFÉRICO DE LA CIUDAD DE MADRID PARA EL PASO DE MATERIAL GRAVE EN SENTIDO SUR	<b>DIRECCIONES</b> JUAN CARLOS GUERRA, INÉS LOPE GARCÍA Y OMBRA GONZÁLEZ	<b>ESCALA</b>		<b>FECHA</b> JULIO 2020	<b>TÍTULO DEL PLANO</b> PLANTA DE CONJUNTO	<b>NÚMERO DEL PLANO</b> 3

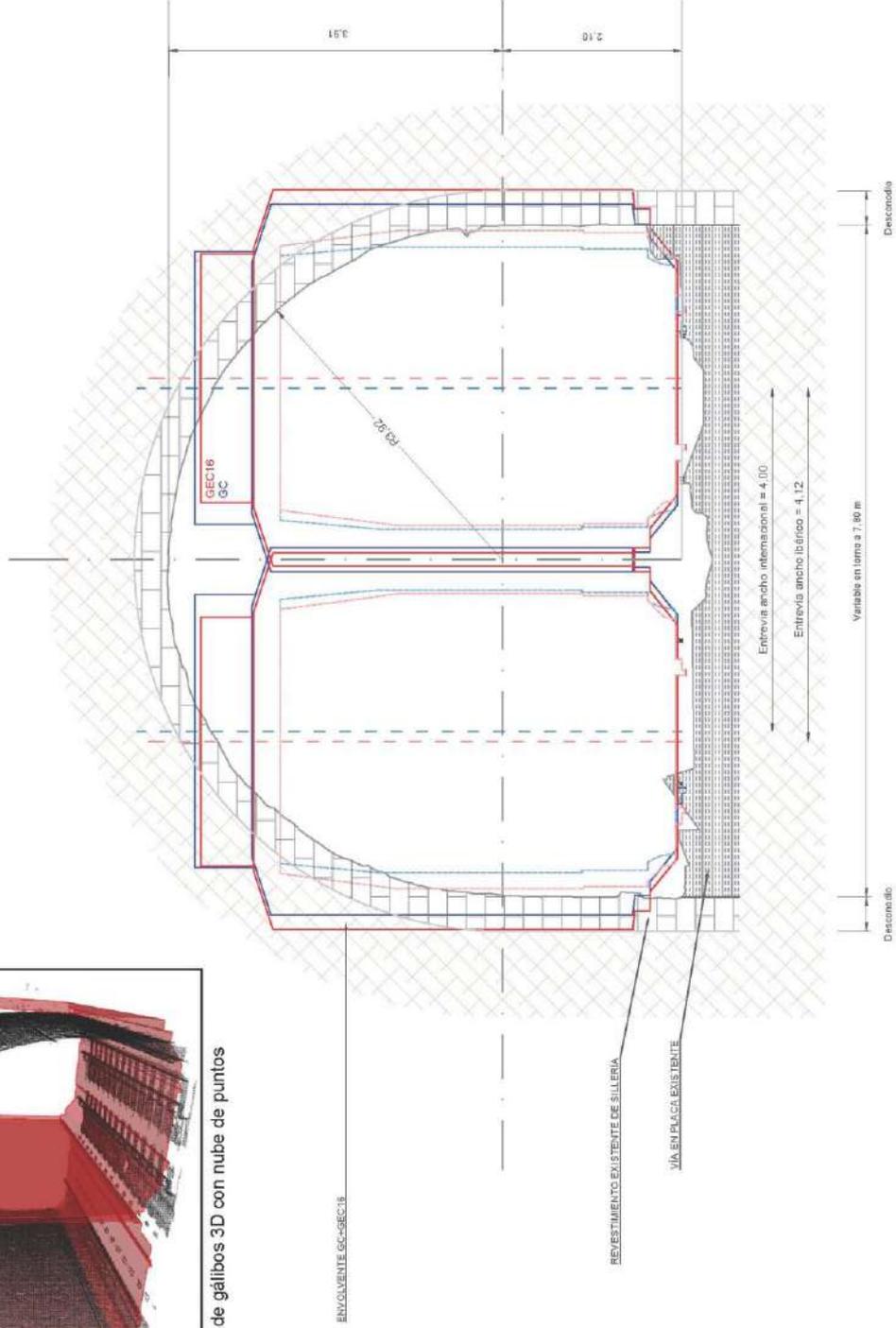
Piano de planta  
1:10000







Estudio de gálibos 3D con nube de puntos



Universidad  
Europea

TÍTULO - ESTUDIO DEL COMPLEJO DE MANUTENCIÓN  
FERROVIARIA ANDALUZZA EN LA LÍNEA  
INFLUENCIA DEL TÚNEL "LA BOVEDA" PARA EL PASO DE  
MATERIAL ROLANTE COMPATIBLE

AUTOR DEL ESTUDIO  
MARCOS RODRIGUEZ BERRANO  
DIRECTORES  
JUAN CARLOS DIEZ-RODRIGUEZ LONGO Y OLGA DONALDZ

ESCALA

Número

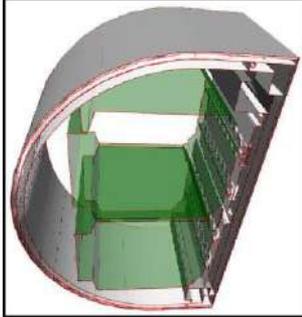
Gráfica

FECHA  
JULIO  
2020

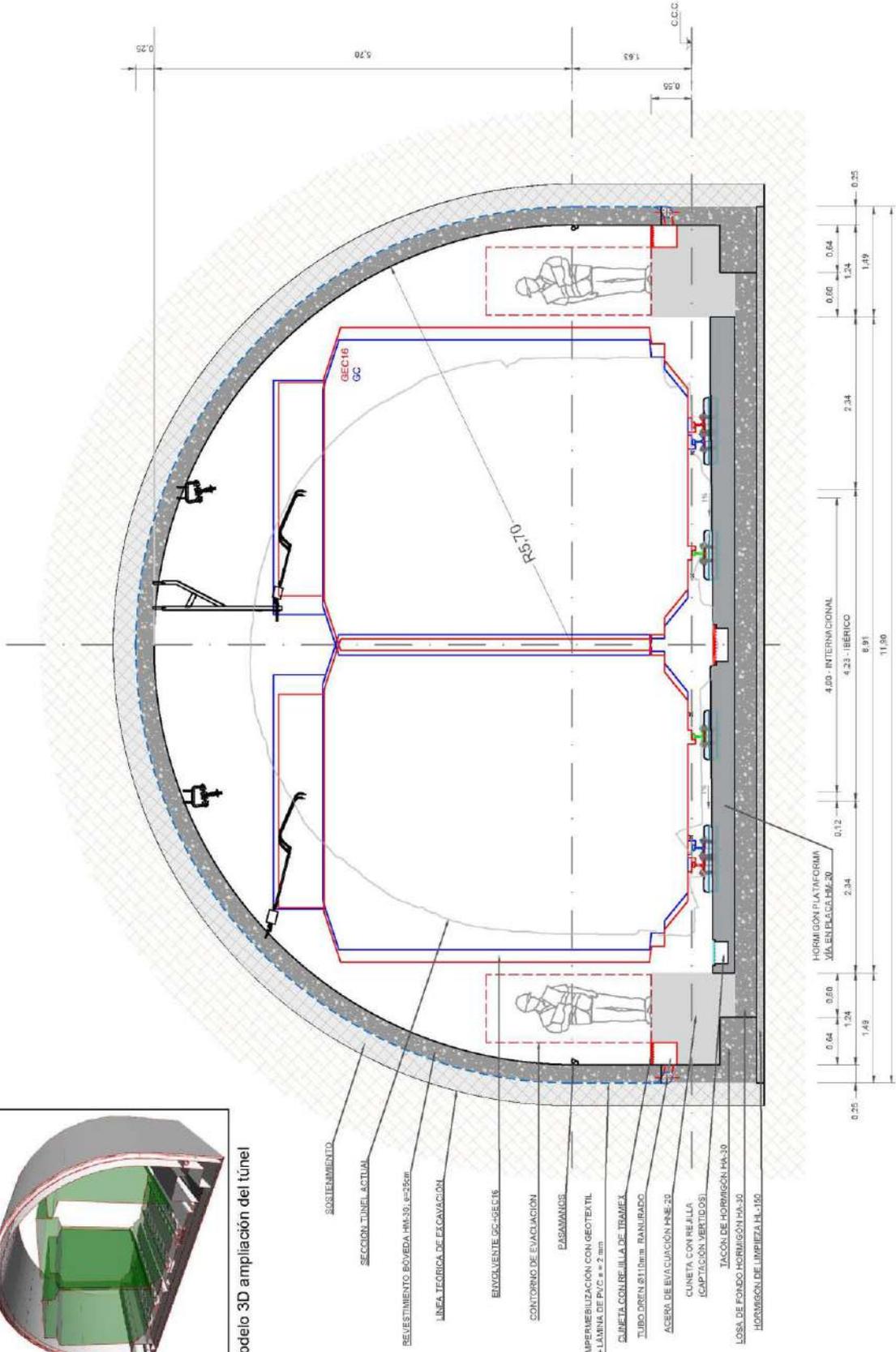
TÍTULO DEL PAÑO  
TÚNEL ACTUAL CON EL GÁLIBO A FUTURO

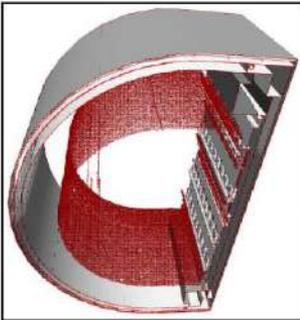
SECCIONES TIPO

MATERIAVO  
6  
Hoja 1 de 5

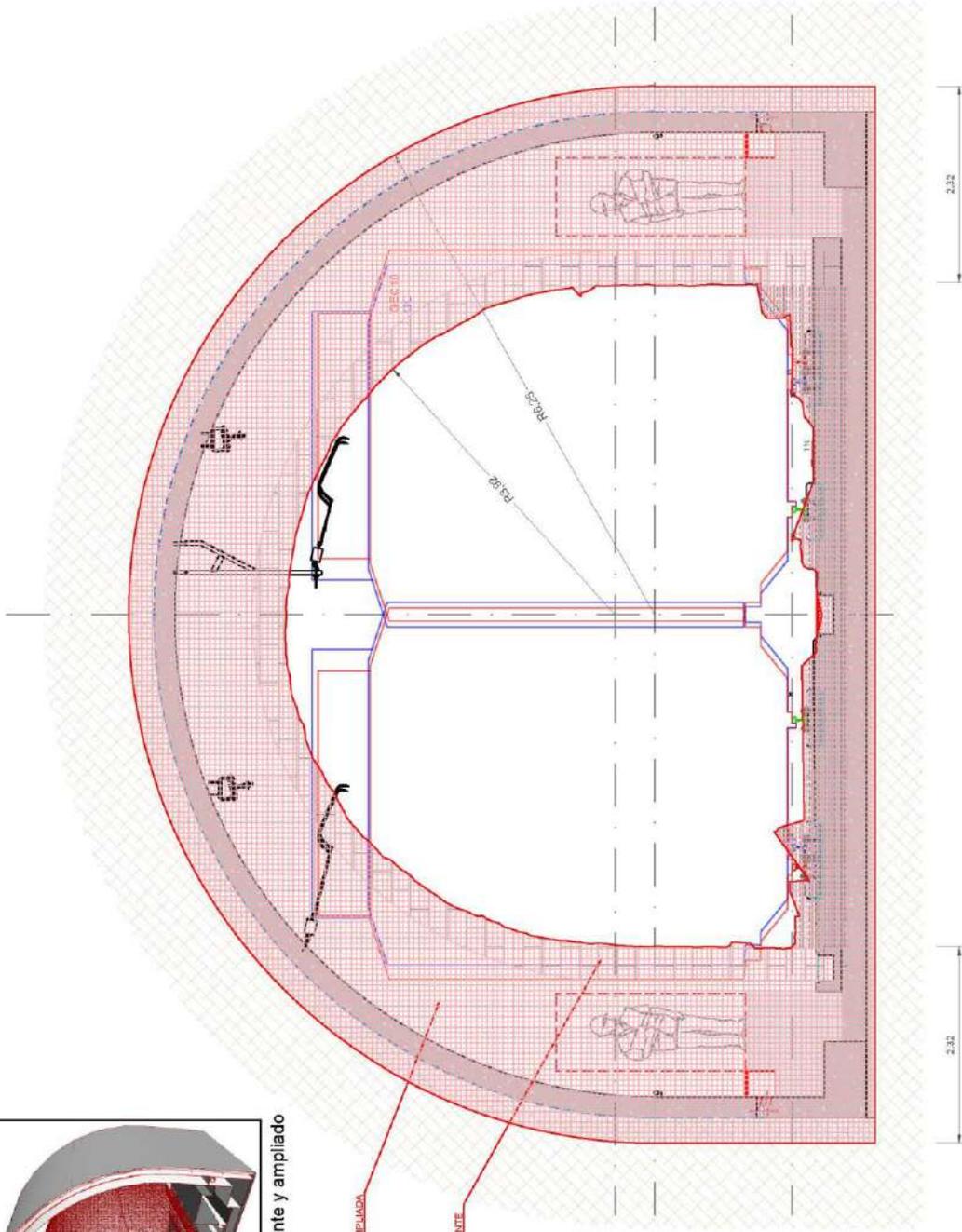


Modelo 3D ampliación del túnel





Modelo 3D túnel existente y ampliado



EXCAVACIÓN DE LA SECCIÓN AMPLIADA

RESOLUCIÓN REVESTIMIENTO EXISTENTE



Universidad Europea

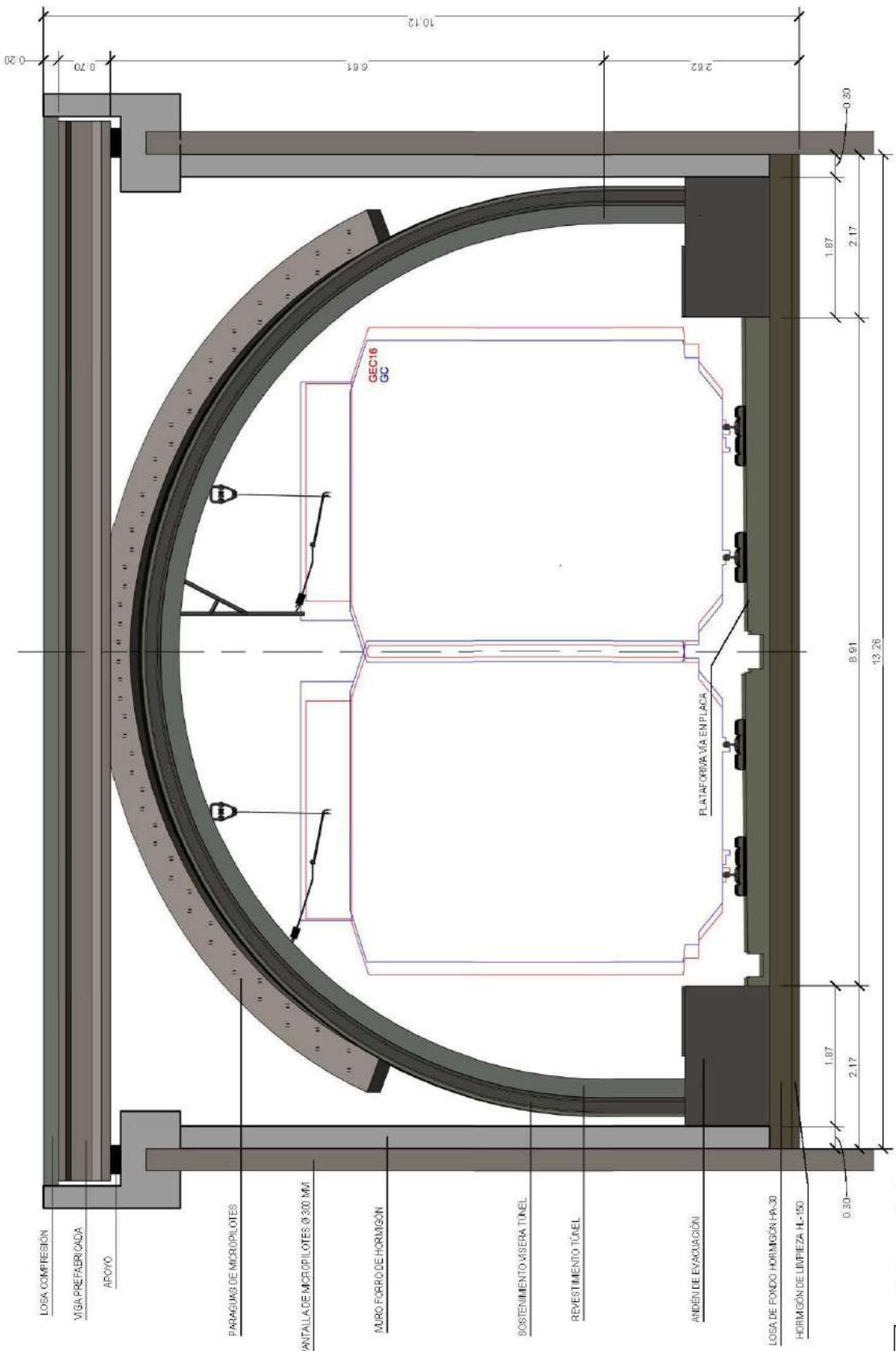
TÍTULO: ESTUDIO DEL DESARROLLO DE LA LÍNEA FERROVIARIA ANFICARACOSA BR/SE/ELIA (AMPLIACIÓN DEL TÚNEL "LA ROJUELA" PARA EL PASO DE MATERIAL LOGÍSTICO COMPATIBLE)

AUTOR DEL ESTUDIO: MATEOS RODRIGUEZ BERRANO  
DIRECTORES: JUAN CARLOS QUIJERA, MIRIAM GÓMEZ LÓPEZ Y GUYA GONZÁLEZ

ESCALA: NUMERO: 0000

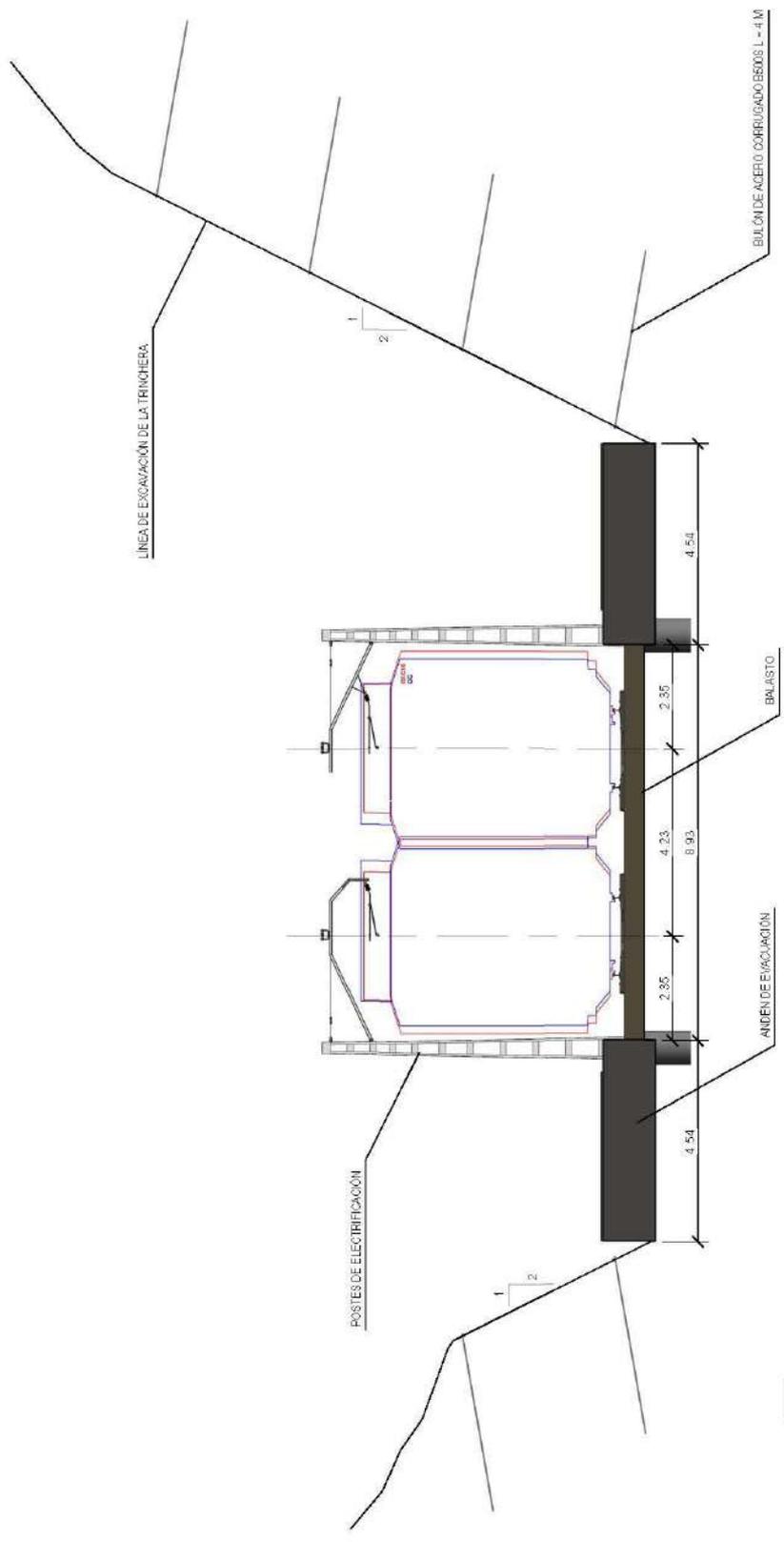
FECHA: JULIO 2020

TÍTULO DEL PAÑO: SECCIONES TIPO  
EXCARCACIÓN Y DEMOLICIÓN DE LA SECCIÓN - TÚNEL EN MINA



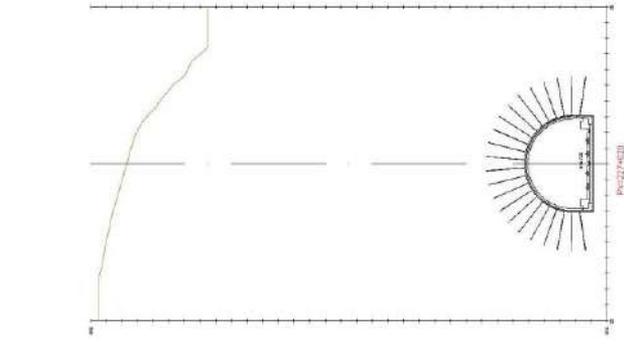
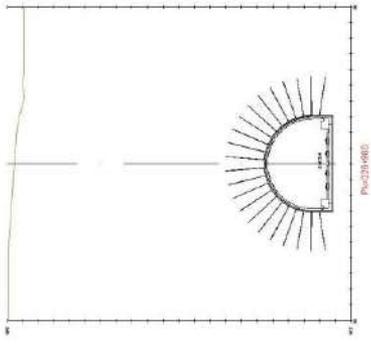
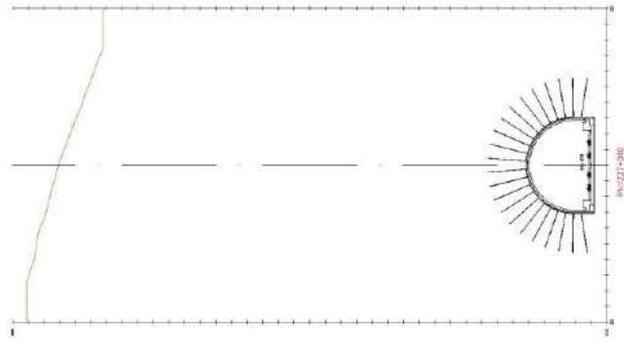
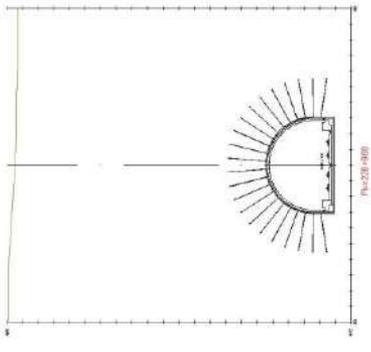
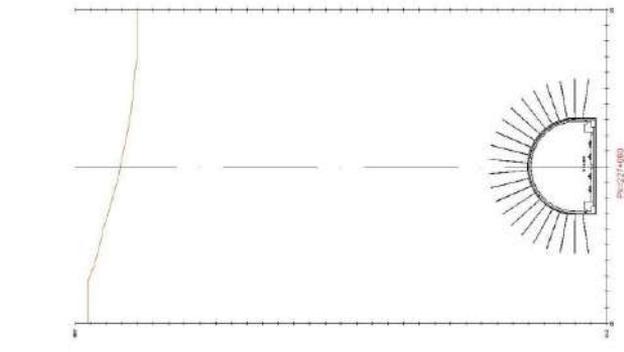
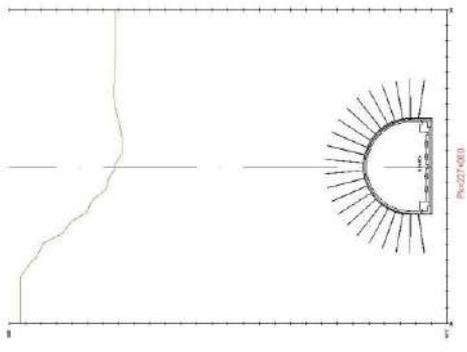
1 Sección tipo en estructura  
6 1:50

 <b>Universidad Europea</b> <small>UNIVERSITY OF EUROPE</small>	TÍTULO: ESTUDIO DEL COMPLEJO DE LA INTERSECCIÓN PARA EL PASADO DE LA R-100 Y LA R-100 PARA LA AMPLIACIÓN DEL TUNEL "LA ROMERA" PARA EL PASO DE MATERIAL RODANTE COMPATIBLE	AUTOR DEL ESTUDIO: MARCOS RODRÍGUEZ SERIANO DIRECTORES: JAVI CARLOS GUERRA, MARÍA JOSÉ GARCÍA Y OLGA GONZÁLEZ	ESCALA: Numérica	Gállica	FECHA: JULIO 2020	TÍTULO DEL PLANO: SECCIÓN TIPO EN ESTRUCTURA	SECCIONES TIPO: EMBUDOUILLE DE SUELO	N.º DE PLANO: 6
	Page 4 de 5							



1 Sección tipo en trinchera  
8.5 1:100







**Universidad Europea**  
UNIVERSITY OF EUROPE

TÍTULO: ENTORNO DE RESERVAS DE LA PROPIA  
FERRARIAS PARA CALIFICACIONES DEL IMA  
MULTIUSUAL DEL TONELAJE PARA EL PASO DE  
MATERIAL RODANTE COMPATIBLE

AUTOR DEL ESTUDIO: MARCO SODRIGUEZ BERRONO  
DIRECTORES: JUAN CARLOS OJEDA, MIRALDO GORDO Y GUAY GONZALEZ

ESCALA:  
Numeros

Gráficas

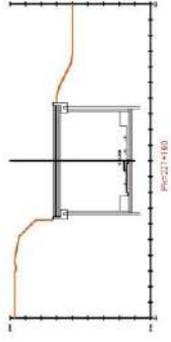
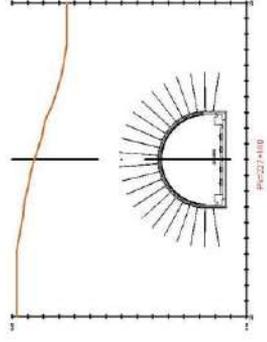
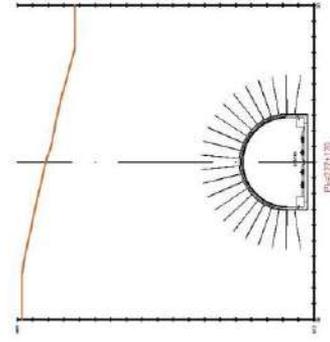
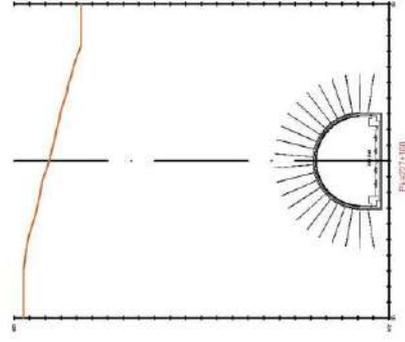
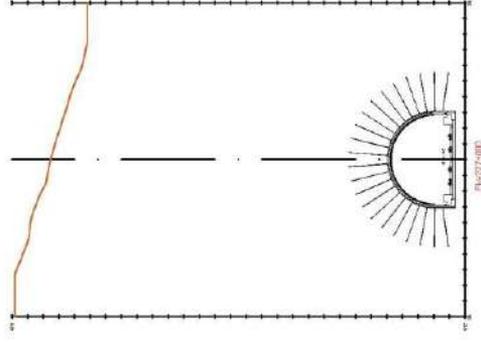


FECHA:  
JULIO  
2020

TÍTULO DEL BANDO:  
EXCAVACIÓN Y DEMOLICIÓN DE LA SECCIÓN - TONEL EN MINA

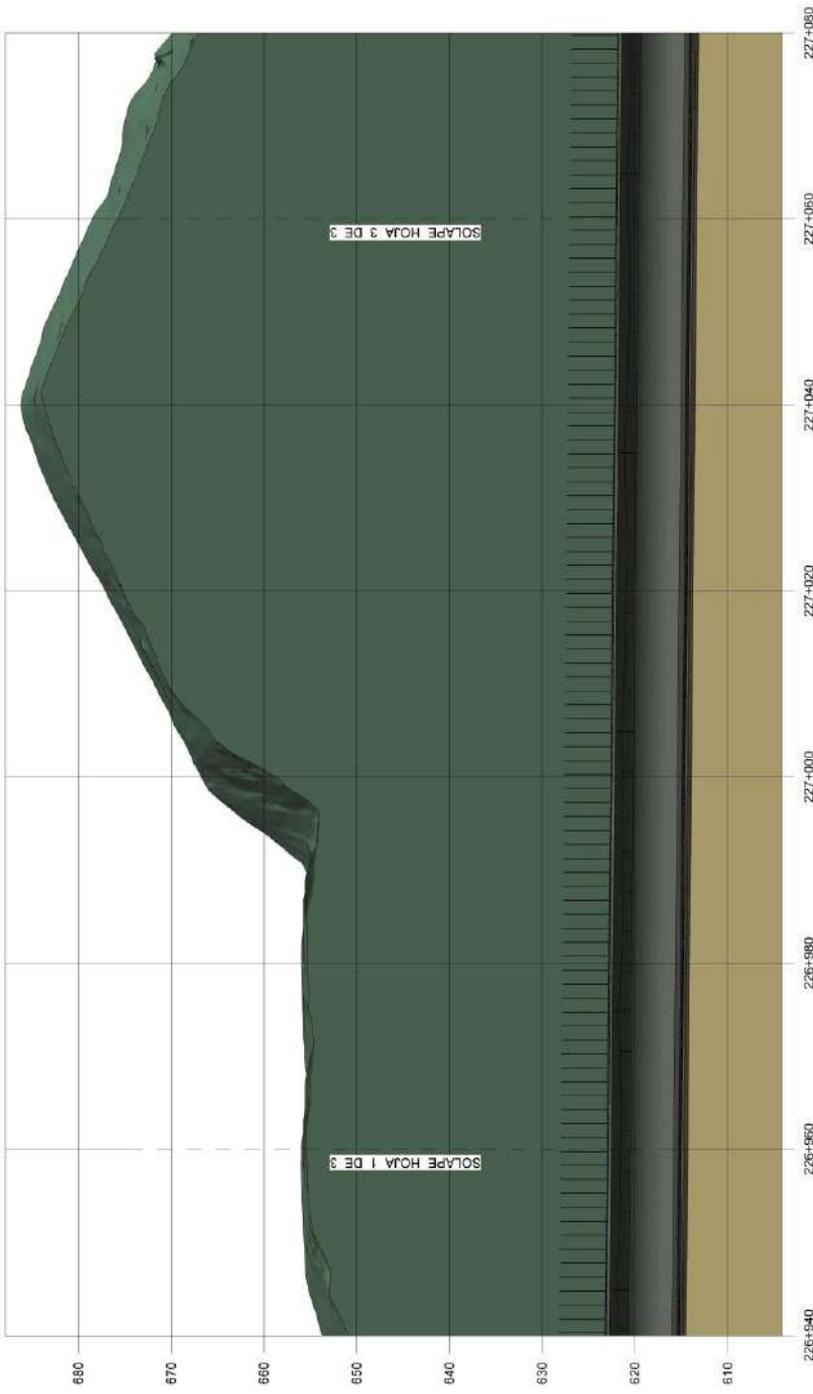
SECCIONES TIPO:  
7

MEMORANDUM:  
Pag. 3 de 3

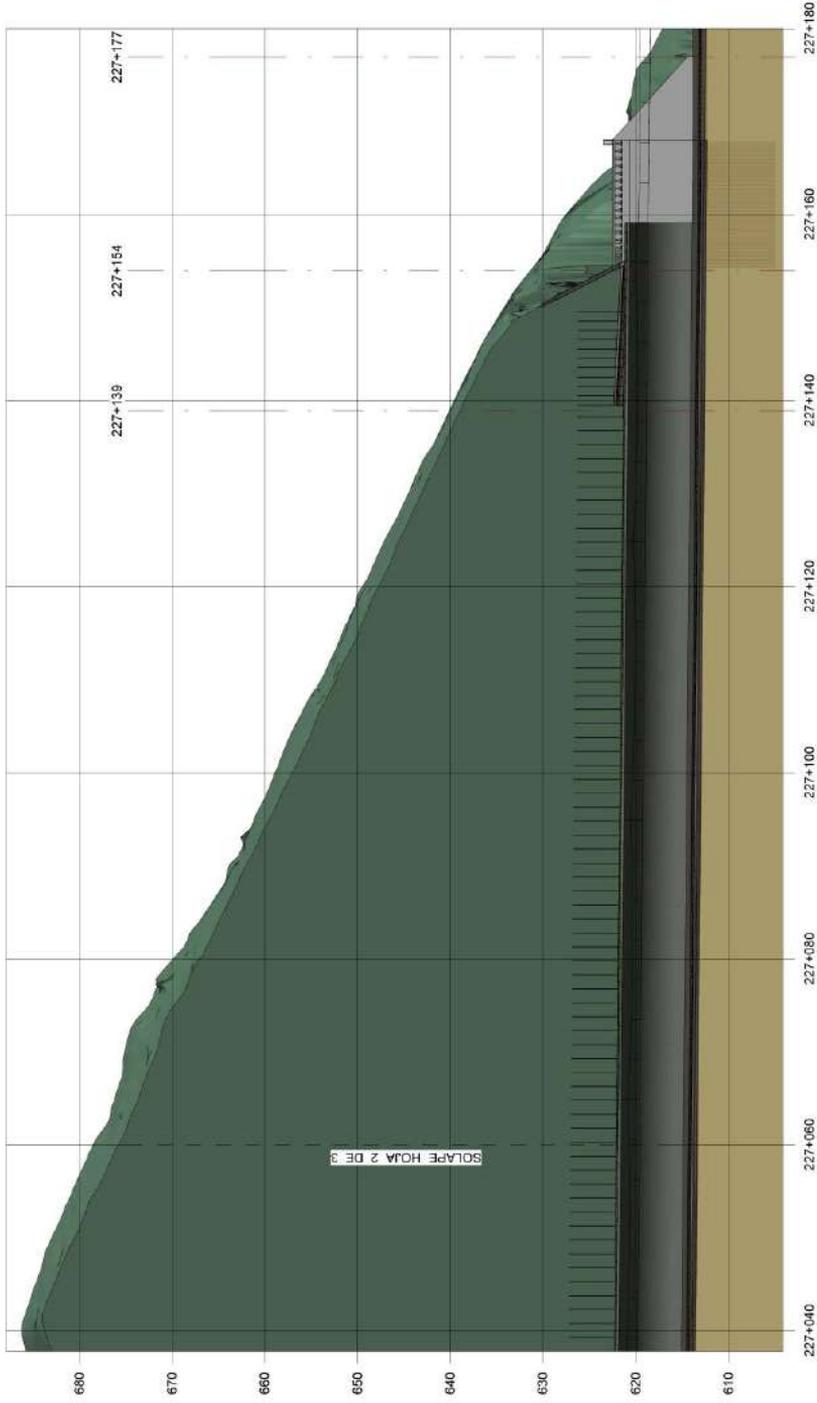




TRAMIFICACIÓN	1	2	3	4
LONGITUD DEL TRAMO (m)	44	12	5 + 10	228
RMR		-	< 40 ; CLASE IV-V	40 < RMR < 60 ; CLASE III
MÉTODO DE EXCAVACIÓN	MECÁNICO	MECÁNICO	MECÁNICO	MECÁNICO
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	EQUIPO TES	EQUIPO TES (MÁQUINA DE AMPLIACIÓN DE GÁLIBOS)
PASE DE AVANCE (m)	-	1	1	1,5
LONGITUD BULONES (m)	4	-	5 (1 CADA 1 m)	5 (1 cada 1,5 m)
HORMIGÓN PROYECTADO (SELLADO)	-	BERNOLD	50 mm	50 mm
CERCHA	-	HEB-160	TH-21	TH-21
HORMIGÓN PROYECTADO	-	160 mm	160 mm	110 mm
TRATAMIENTOS ESPECIALES	AMPLIACIÓN DE LA TRINCHERA Y SOSTENIMIENTO	FALSO TÚNEL	PARAGUAS	EMPLEO DE MEDIOS COMPLEMENTARIOS DE FRACTURACIÓN EN CASO NECESARIO
BÓVEDA	-	HM-30 (25 cm)	HM-30 (25 cm)	HM-30 (25 cm)
LOSA Y TACONES	-	HA-30	HA-30	HA-30



TRAMIFICACIÓN	4
LONGITUD DEL TRAMO (m)	228
RMR	40 < RMR < 60 - CLASE III
MÉTODO DE EXCAVACIÓN	MECÁNICO
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	EQUIPO TES (MÁQUINA DE AMPLIACIÓN DE GÁLIBOS)
PASE DE AVANCE (m)	1,5
LONGITUD BULONES (m)	5 (1 cada 1,5 m)
HORMIGÓN PROYECTADO (SELLADO)	50 mm
CERCHA	1H-21
HORMIGÓN PROYECTADO	110 mm
TRATAMIENTOS ESPECIALES	EMPLEO DE MEDIOS COMPLEMENTARIOS DE FRACTURACIÓN EN CASO NECESARIO
BÓVEDA	HM-30 (25 cm)
LOSA Y TACONES	HA-30

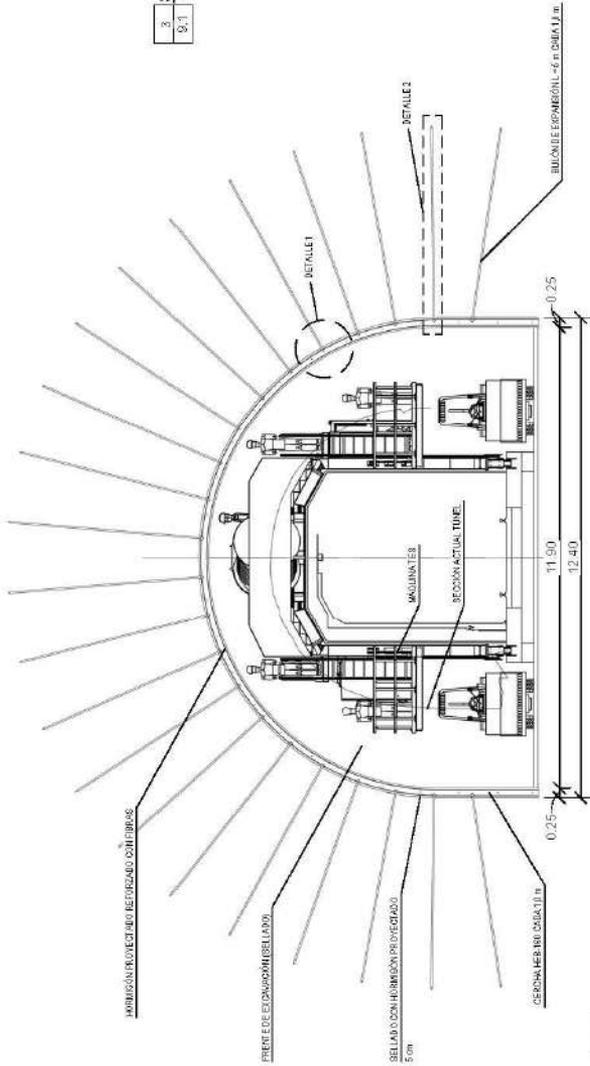


TRAMIFICACIÓN	4	5	6
LONGITUD DEL TRAMO (m)	228	10 + 5	23
RMR	40 < RMR < 60 : CLASE III	< 40 : CLASE IV-V	-
MÉTODO DE EXCAVACIÓN	MECÁNICO	MECÁNICO	MECÁNICO
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	EQUIPO TES MÁQUINA DE AMPLIACIÓN DE GALBOS)	EQUIPO TES	CONVENIONAL
PASE DE AVANCE (m)	1,5	1	-
LONGITUD BULONES (m)	5 (1 cada 1,5 m)	5 (1 CADA 1 m)	-
HORMIGÓN PROYECTADO (SELLADO)	50 mm	50 mm	-
CERCHA	TH-21	HEB-160	-
HORMIGÓN PROYECTADO	110 mm	160 mm	-
TRATAMIENTOS ESPECIALES	EMPLEO DE MEDIOS COMPLEMENTARIOS DE FRACTURACIÓN EN CASO NECESARIO	PARAGUAS	SECCIÓN ESTRUCTURA
BOVEDA	HM-30 (25 cm)	HM-30 (25 cm)	-
LOSA Y TACONES	HA-30	HA-30	-



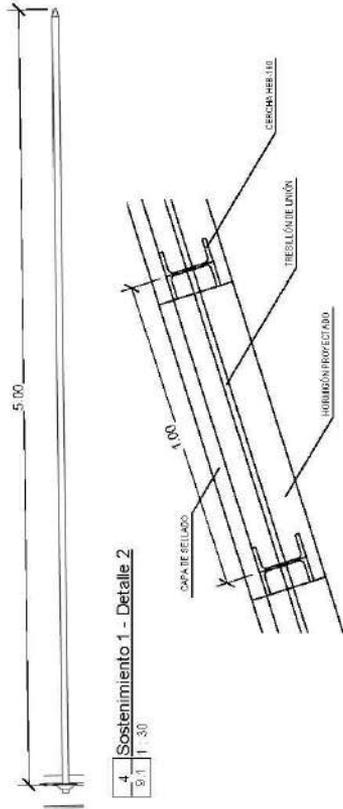
**ÁMBITO DE APLICACIÓN: RMR < 40**  
**PASE DE AVANCE: 1,0 m**  
**MÉTODO DE EXCAVACIÓN: MEDIOS MECÁNICOS**

3 Sostentimiento 1 - Detalle 1  
 9,1 1:20

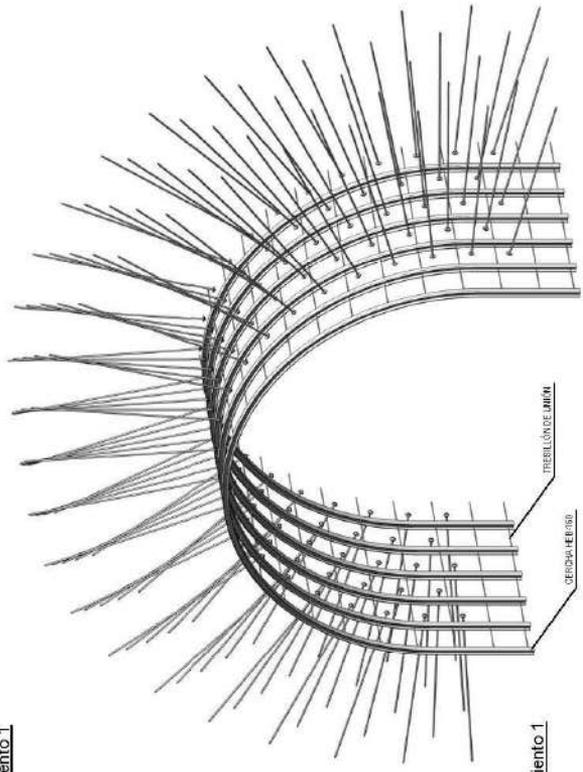


3,1 Sostentimiento 1  
 9,1 1:20

4 Sostentimiento 1 - Detalle 2  
 9,1 1:30



5 Sostentimiento 1 - Planta  
 8,1 1:15

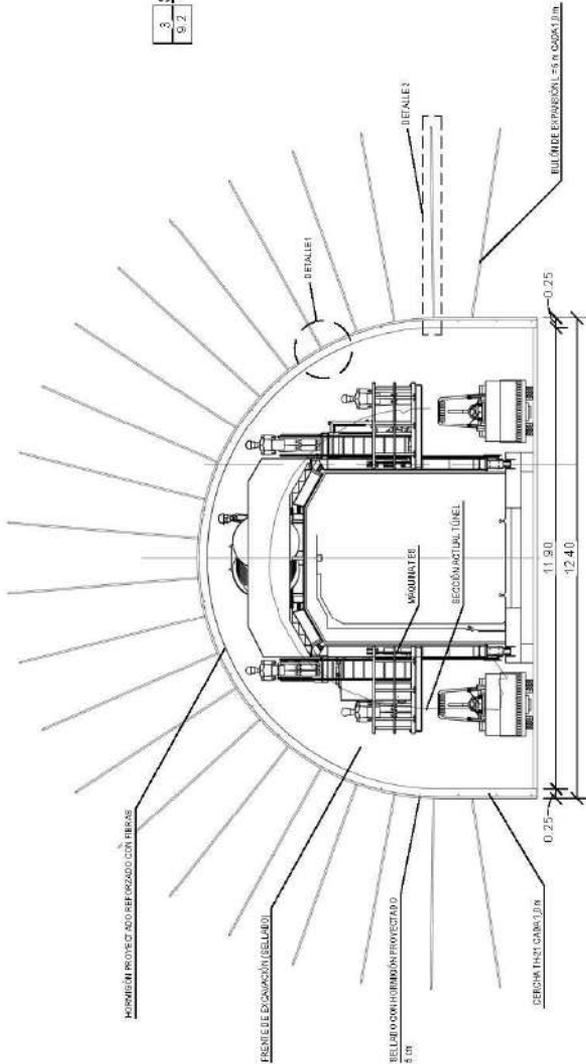
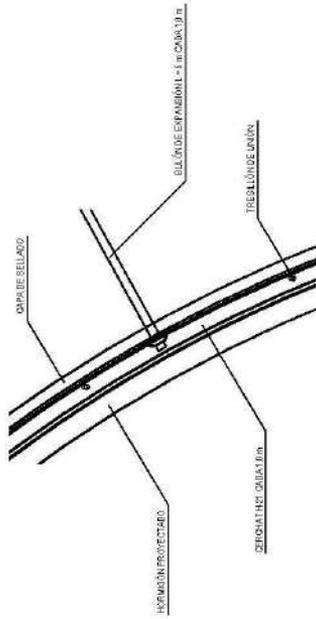


2 Sostentimiento 1  
 9,1

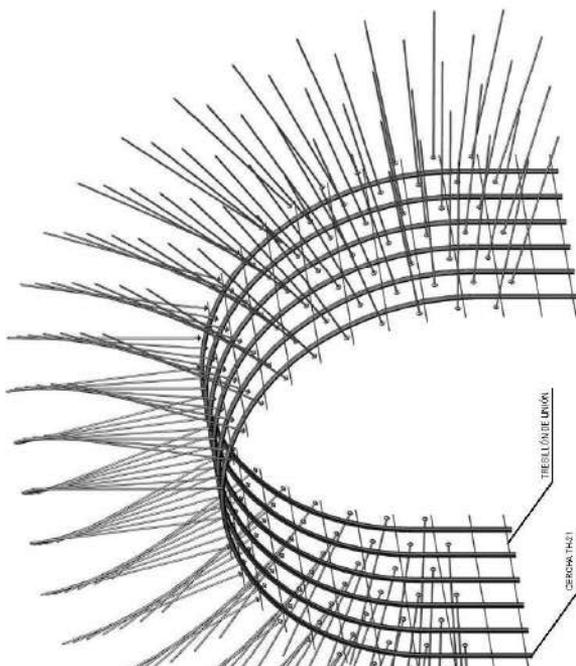
**NOTAS:**  
 1- DADO QUE SE TRATA DE UN SISTEMA DE EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO MECANIZADO, REQUIERE DISPONER DE EQUIPOS DE PERFIL BAJO PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS, DE DIMENSIONES COMPATIBLES CON LOS ANCHOS ÚTILES EN LOS PASILLOS LATERALES.  
 2- EN RELACIÓN A LA EXCAVABILIDAD, LOS EQUIPOS INSTALADOS EN LA MÁQUINA DEBEN SER ADAPTADOS A LAS CARACTERÍSTICAS GEOTECNOLÓGICAS.

**ÁMBITO DE APLICACIÓN: RMR < 40**  
**PASE DE AVANCE: 1,0 m**  
**MÉTODO DE EXCAVACIÓN: MEDIOS MECÁNICOS**

**3. Sostentimiento 2 - Detalle 1**  
 9.2 1:20

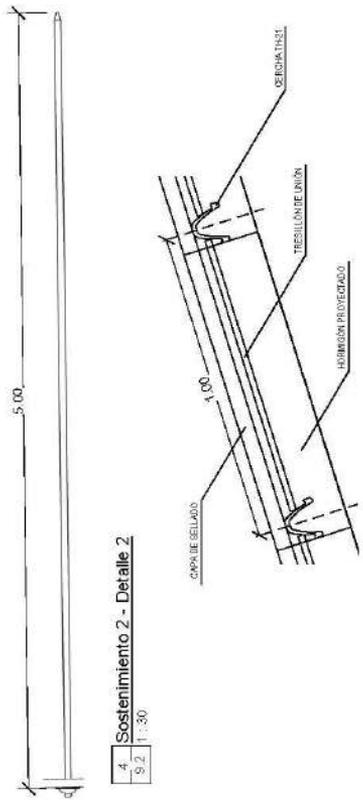


**1. Sostentimiento 2**  
 9.2 1:120



**2. Sostentimiento 2**  
 9.2

**4. Sostentimiento 2 - Detalle 2**  
 9.2 1:30



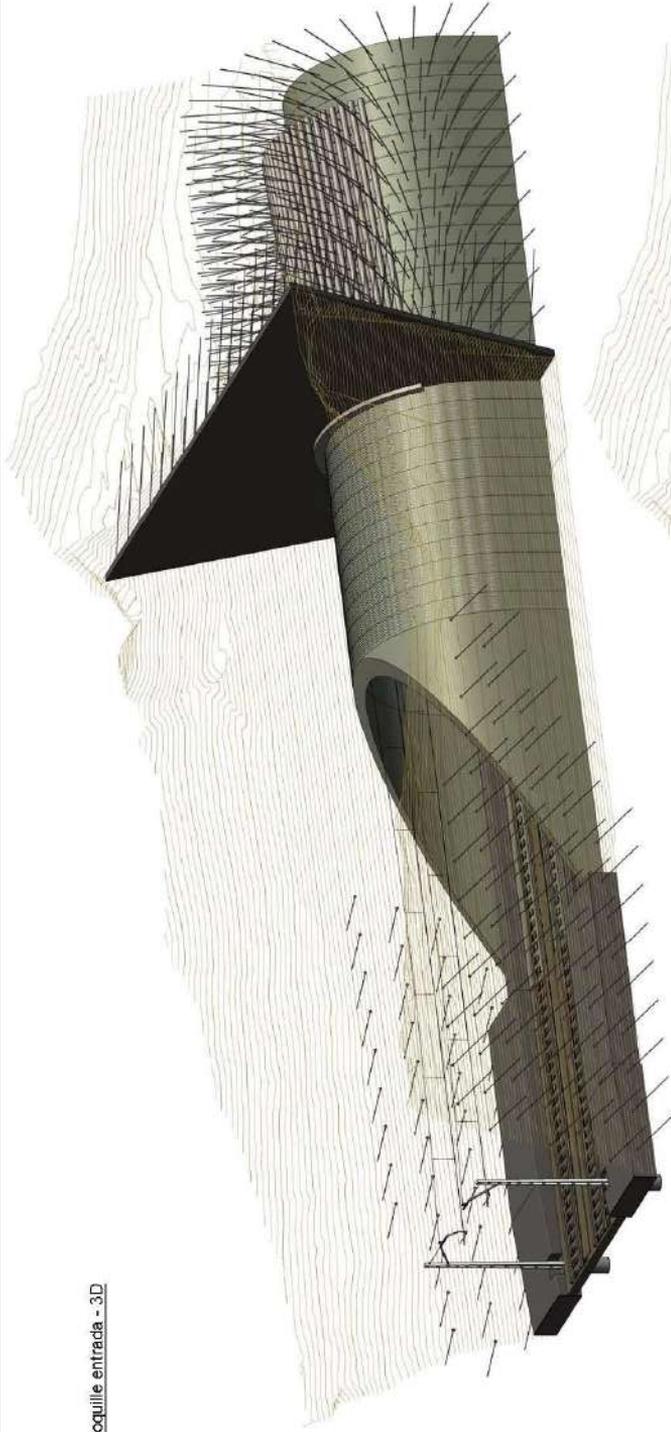
**5. Sostentimiento 2 - Planta**  
 9.2 1:15

**NOTAS:**  
 1- DADO QUE SE TRATA DE UN SISTEMA DE EXCAVACIÓN Y SOSTENTIMIENTO MECANIZADO, REQUIERE DISPONER DE EQUIPOS DE PERFIL BAJO PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS, DE CIMENTACIONES COMPACTES CON LOS ANCHOS ÚTILES EN LOS PASILLOS LATERALES.  
 2- EN RELACION A LA EXCAVACIÓN, LOS EQUIPOS INSTALADOS EN LA MÁQUINA DEBEN SER ADAPTADOS A LAS CARACTERÍSTICAS SECTORALES.



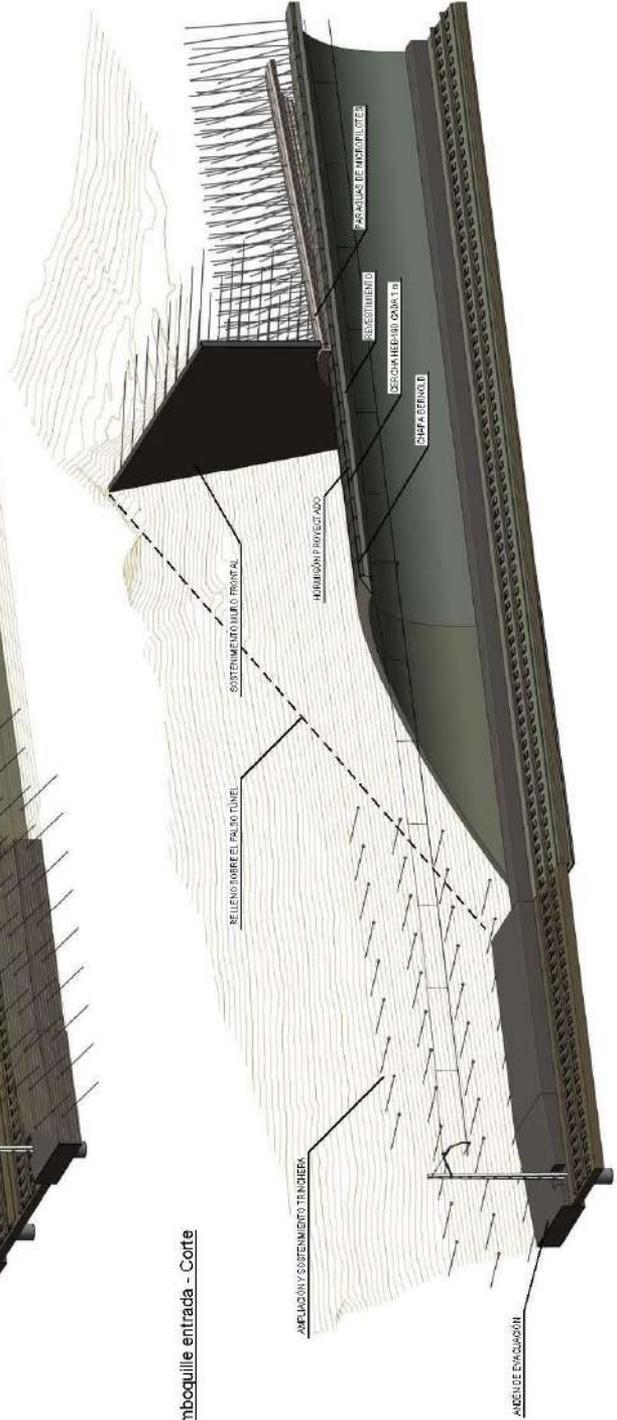
2 Emboquille entrada - 3D

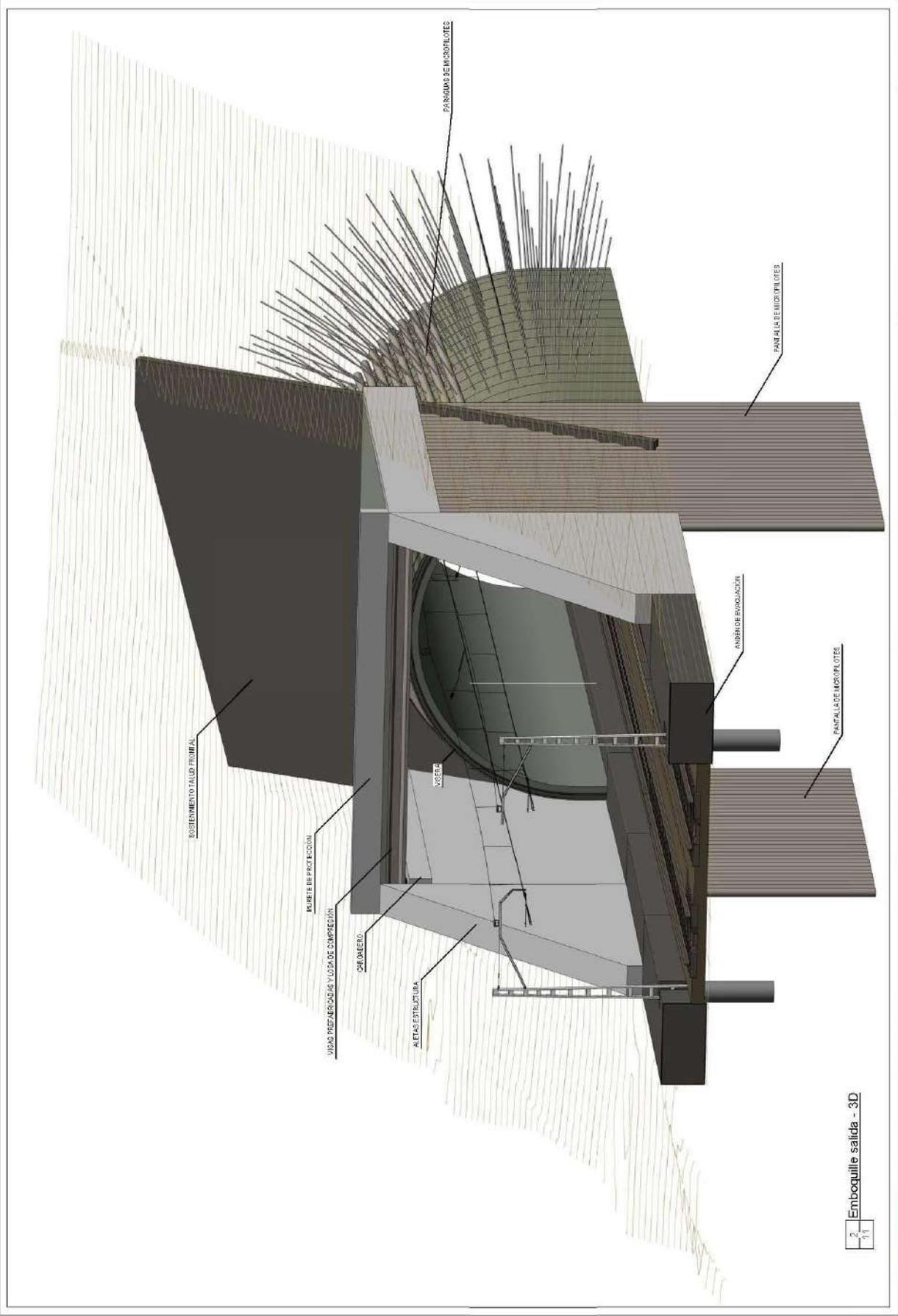
10



3 Emboquille entrada - Corte

10





2 Emboquille salida - 3D  
11

# Presupuesto

## **PRESUPUESTO**

Capítulo 01. Movimiento de tierras

Capítulo 02. Túnel

Capítulo 03. Vía

## **RESUMEN DE PRESUPUESTO**

Presupuesto Ejecución Material (PEM)

Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)

Presupuesto Base de Licitación (PBL)

**Presupuesto**

Número	Cantidad	Ud	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
<b>Capítulo: 01 MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>						
01.01 PE206L99C	2.972,00	m3	<b>Relleno localizado con mat. préstamo</b> Relleno localizado con material procedente de préstamo. Trabajo: diurno Banda de Mantenimiento: 5 > i >= 3 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	8	23.776	
01.02 PE240999C	4.847,00	m3	<b>Excavación de desmonte en roca, a máquina</b> Desmonte en roca, a máquina, incluso transporte de productos a vertedero de la Contrata. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios. Incluye refinos, herramientas y medios auxiliares. En el supuesto de que Adif autorice a verter en vertedero de su propiedad, la Contrata procederá al extendido y perfilado del mismo. Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: 5 > i >= 3 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	11,78	57.097,66	
<b>Total capítulo: 01</b>					<b>80.873,66</b>	

## Presupuesto

Número	Cantidad	Ud	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
<b>Capítulo: 02</b>		<b>TÚNEL</b>				
02.01 PT31009ac	13.581,12	m3	<b>Excavación mecánica en roca</b> Excavación, en túnel de vía doble electrificada, en roca con medios mecánicos, incluso extracción de productos al borde de la excavación, con transporte a 100 m, como máximo y ventilación. La excavación se medirá sobre perfil teórico de abono. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares, debiendo la Contrata disponer de la iluminación necesaria. Tipo túnel: Vía doble electrificada Trabajo: diurno Banda de Mantenimiento: 5 > i >= 3 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	80,61	1.094.774,08	
02.02 PT11001ac	4.012,00	ud	<b>Sum. y montaje, bulón de Expansión de 4 m en bóveda</b> Suministro y montaje, en bóveda y hastiales de túnel de vía doble electrificada, de bulón de anclaje de expansión de 4 m de longitud, tipo Swellex o similar, mediante bomba de agua a alta presión y colocación de placa de anclaje de 150x150 mm. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, andamiaje, herramientas y medios auxiliares, debiendo la Contrata disponer de la iluminación necesaria. Tipo túnel: Vía doble electrificada Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: 5 > i >= 3 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	101,4	406.816,8	
02.03 PE500Eac	834,00	m	<b>Bulón de acero B-500 S, de 25 mm de d</b> Bulón de barra acero B-500 S de 25 mm, incluyendo perforación a rotoperforación desde andamio, inyección posterior, placa, tuerca, tesado, totalmente colocado incluyendo maquinaria, herramientas y medios auxiliares necesarios. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares. Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: 5 > i >= 3 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	62,95	52.500,3	
02.04 PT5001Bac	3.570,00	m2	<b>Hormigón de limpieza HL-200/P/20, 10 cm en túnel</b> Capa de limpieza y nivelación de 10 cm de espesor de hormigón HL-200/P/20 con cemento SR, de consistencia plástica y tamaño máximo del árido 20 mm, en cualquier tipo de obra en túnel, vertido desde camión, vigilancia y protección del hormigón según EHE-08, maquinaria, herramientas y medios auxiliares necesarios. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, debiendo la Contrata disponer de la iluminación necesaria. Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: 5 > i >= 3 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	14,18	50.622,6	
02.05 PE5201Bac	1.898,00	m	<b>Micropilote in situ de 300 mm de diámetro</b> Micropilote fabricado "in situ" de diámetro exterior 300 mm Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: no necesita o intervalo >=5 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	193,19	366.674,62	
02.06 PPA102Bac	550,34	m	<b>Barandilla de acero travesaño inferior barrotes 15 cm, h=100 cm, anclada con taco de acero, arandela y tuerca</b> Barandilla de acero, con pasamanos, travesaño inferior, adosada al túnel, anclada en la obra con taco de acero, arandela y tuerca. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares. Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: no necesita o intervalo >=5 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	93,61	51.517,33	

**Presupuesto**

Número	Cantidad	Ud	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
02.07 P12693bdc	4.050,77	m3	<b>Hormigón HA-25/P/20/IIa, elab. obra, en túnel</b> Hormigón para armar HA-25/P/20/IIa, elaborado en obra con cemento SR, totalmente terminado, incluso colocación en túnel, vibrado, curado, vigilancia y protección del hormigón según EHE-08, maquinaria, herramientas y medios auxiliares necesarios. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, debiendo la Contrata disponer de la iluminación necesaria. Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: no necesita o intervalo >=5 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	99,42	402.727,55	
02.08 P11303fbc	31.374,90	kg	<b>Suministro y montaje de perfiles HEB-160, en apeo de bóveda</b> Suministro y montaje de perfiles metálicos normalizados HEB-160 o similar para apeos, en bóveda de túnel de vía doble electrificada, incluso capa de minio y dos de pintura antioxidante y parte proporcional de cimentación. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares, debiendo la Contrata disponer de la iluminación necesaria. Tipo túnel: Vía doble electrificada Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: no necesita o intervalo >=5 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	4,56	143.069,54	
02.09 P11303fbc	87.643,50	kg	<b>Cercha TH-21 en revestimiento de túnel</b> Cercha perdida en revestimiento de túnel de vía doble electrificada, formada con perfil TH-21, incluso pinturas de protección, bridas, arriostamiento, apoyos y cuñas provisionales. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, andamiajes, herramientas y medios auxiliares. En intervalo diurno o nocturno. Incluye la iluminación. Tipo túnel: Vía doble electrificada Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: no necesita o intervalo >=5 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	1,72	150.746,82	
02.10 P14608fbc	6.068,95	m2	<b>Lámina PVC sin armadura, impermeabilizante, e=2 mm, en túnel</b> Lámina de PVC impermeabilizante, de 2 mm de espesor termosoldable sin armadura, totalmente instalada tipo sándwich en túnel de vía doble electrificada, sujeta con taco de expansión y cubretacos ( 6 unidades por m²), incluyendo equipos ( tijeras elevadoras, pórticos o andamios homologados, grupos electrogenos, iluminación, soldadores, taladros, brocas, pistolas de tiros y silicona) necesarios, sellados y p.p. de solapes. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, debiendo la Contrata disponer de la iluminación necesaria. Tipo túnel: Vía doble electrificada Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: no necesita o intervalo >=5 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	21,83	132.485,18	
02.11 IA3032	6.068,95	m2	<b>Geotextil drenaje 160 g/m² UV</b> Suministro y colocación de geotextil tejido para drenaje, fabricado en PP, con una densidad de 160 g/m², tratado para resistir las radiaciones UV y resistente al envejecimiento, agua de mar, ácidos y álcalis, colocado con un solape del 10 % en suelo previamente acondicionado, sin incluir éste ni el tapado.	1,35	8.193,08	
02.12 P11498fbc	436,99	m2	<b>Revestimiento con chapa Bernold, e=3 mm, en bóveda</b> Revestimiento con chapa Bernold o similar, de 3 mm de espesor, en bóveda de túnel de vía doble electrificada, incluso parte proporcional de cerchas de montaje, pernos de unión y cierres metálicos, colocado en obra. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, andamiajes, herramientas y medios auxiliares, debiendo la Contrata disponer de la iluminación necesaria. Tipo túnel: Vía doble electrificada Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: no necesita o intervalo >=5 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	37,79	16.513,85	

**Presupuesto**

Número	Cantidad	Ud	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
02.13 G91023945	1.322,47	m3	<b>HORMIGÓN PROYECTADO H/MP/35 CON CUALQUIER ESPESOR EN SOSTENIMIENTO</b> HORMIGÓN PROYECTADO H/MP/35 CON CUALQUIER ESPESOR EN SOSTENIMIENTO DE TÚNELES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS I/ LOS ADITIVOS NECESARIOS Y P.P. POR RECHAZO EN LA COLOCACIÓN, SIN ADICIÓN DE FIBRAS	209,86	277.533,55	
02.14 G9103044	398,05	m3	<b>HORMIGÓN PROYECTADO H/MP/35 CON CUALQUIER ESPESOR EN TALUDES</b> HORMIGÓN PROYECTADO H/MP/35 CON CUALQUIER ESPESOR EN TALUDES I/ ADITIVOS NECESARIOS	194,4	77.380,92	
02.15 P95103cbdc	225,60	m	<b>Viga Pref. horm. arm. pretensada "I", secc. 1500-2000 cm<sup>2</sup>, L=5-20m</b> Viga prefabricada de hormigón con armaduras pretensadas de sección en doble t, hasta 20 m, con una sección de entre 1500 y 2000 cm <sup>2</sup> , colocada con grúa. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares. Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: no necesita o Intervalo >=5 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	184,47	41.616,43	
02.16 P95103cbdc	2.132,00	m	<b>Bulón de acero B-500 S, de 25 mm de d</b> Bulón de barra acero B-500 S de 25 mm, incluyendo perforación a rotoperforación desde andamio, inyección posterior, placa, tuerca, tesado, totalmente colocado incluyendo maquinaria, herramientas y medios auxiliares necesarios. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares. Trabajo: nocturno Banda de Mantenimiento: 5 >   >= 3 horas Dificultad de acceso: si Volumen a ejecutar: Relevante	62,95	134.209,4	
<b>Total capítulo: 02</b>					<b>3.407.382,05</b>	

**Presupuesto**

Número	Cantidad	Ud	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
<b>Capítulo: 03</b>		<b>VÍA</b>				
<b>Capítulo: 03.01</b>		<b>TRABAJOS PREVIOS</b>				
03.01.01 DV02N016N	0,30	km	<b>COMPROBACIÓN TRAZA Y MECANIZADO DE VÍA</b> COMPROBACIÓN DE LA TRAZA MEDIANTE ESTACIÓN TOTAL O GPS. TOMANDO PERFILES TRANSVERSALES CADA 20 M QUE SE DENSIFICARÁN EN CASO DE SER NECESARIO, SE CONSIDERARÁN 7 PUNTOS POR PERFIL. INCLUYE EL ENCAJE DE LA PLANTA Y ALZADO, ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y FUNCIONALES ASÍ COMO EL CUADRO DE VELOCIDADES ADMISIBLES POR TRAZADO	1.032,18	309,85	
03.01.02 V010003	300,00	m	<b>PIQUETEADO COMPLETO Y ESTUDIO DE LA VÍA, SEGÚN NORMATIVA DE ADIF (H/N).</b> PIQUETEADO COMPLETO Y ESTUDIO DE LA VÍA, SEGÚN NORMATIVA DE ADIF. COMPRENDE LA MANO DE OBRA NECESARIA A EMPLEAR EN TODAS LAS OPERACIONES NECESARIAS PARA LOS PIQUETEADOS PREVIOS PROVISIONALES Y DEFINITIVOS, INCLUYENDO LA COLOCACIÓN Y NIVELACIÓN DE REFERENCIAS TIPO FENO O SIMILAR, METRADO Y SU COMPENSACIÓN EN LAS CURVAS, FLECHADOS Y CÁLCULOS DE LOS DESPLAZAMIENTOS, REPARTO Y FABRICACIÓN DE LOS PIQUETES A PARTIR DEL CARRIL SUMINISTRADO POR ADIF, LEVANTE Y ARRANQUE DE PIQUETES ANTIGUOS QUE NO SE CONSIDEREN NECESARIOS, SEGÚN LOS CÁLCULOS ACTUALES. EXCAVACIÓN MANUAL O CON AYUDA DE MAQUINARIA, DE 0.40X0.40X0.60 PARA LA CIMENTACIÓN SOBRE LA PLATAFORMA SIN CLASIFICAR Y RETIRADA DE PRODUCTOS A VERTEDERO CON CARGO A LA CONTRATA Y RELLENO CON HORMIGÓN HM-15, REPLANTEO EN PLANTA Y ALZADO, GRANETEADO Y FIJACIÓN DE LAS COTAS DE NIVELACIÓN Y PERALTE. INCLUYE LA CONFECCIÓN DE HOJAS DEFINITIVAS DE 2 KM, INCLUSO MATERIALES, MAQUINARIA, ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS, VARIOS Y MEDIOS AUXILIARES. SE INCLUYE LA COMPENSACIÓN POR LA PROTECCIÓN Y PARALIZACIÓN DE LOS EQUIPOS AL PASO DE LAS CIRCULACIONES. GRADO DE DIFICULTAD: NORMAL	1,37	411	
03.01.03 DV02N0010	2,00	ud	<b>CONSTRUCCION Y LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE LOS HITOS</b> CONSTRUCCION Y LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE LOS HITOS DE CENTRADO FIJO DE LA RED SECUNDARIA, FORMADOS POR UNA BASE DE HORMIGON DE 1 X 1 X 0.60 M LLEVANDO EN EL CENTRO UN TUBO DE PVC ANCLADO A LA BASE DE 20 CM DE DIAMETRO Y 1.20 M DE ALTURA MACIZADO DE HORMIGON O MORTERO DE CEMENTO DONDE RECIBE EN EL CENTRO DE LA PARTE SUPERIOR UNA PLACA DE ACERO GALVANIZADO Y UN TORNILLO ROSCADO PARA NIVELACION, PREFABRICADO EN BASE DE MONTAJE O ZONA DE TRABAJO, INCLUIDO EL MANTENIMIENTO DE LOS HITOS.	488,59	977,18	
03.01.04 V020010040	300,00	m	<b>LEVANTE DE VÍA CON TRAVIESA DE HORMIGÓN, CON CUALQUIER TIPO DE PERFIL Y SUJECIÓN DE CARRILES (N/5 A 3/N).</b> LEVANTE DE VÍA, CON CUALQUIER TIPO DE PERFIL Y SUJECIÓN DE CARRILES, Y TRAVIESA DE HORMIGÓN. COMPRENDE LA MANO DE OBRA NECESARIA PARA EL DESCLAVADO DE CARRILES, CORTES DE CARRIL Y DESEMBRIDADO CON APLICACIÓN DE SIERRA DE DISCO A CRITERIO DE ADIF, RETIRADA DE CARRILES CON CORTES QUE PERMITAN SU POSTERIOR APROVECHAMIENTO, TRAVIESAS Y PEQUEÑO MATERIAL, RETIRADA DE BALASTO O VÍA EN PLACA, RECOGIDA, CARGA, TRANSPORTE, DESCARGA, ACOPIO DE LOS MATERIALES LEVANTADOS EN PARQUE O ALMACÉN DE ESTACIÓN A DESIGNAR POR ADIF Y CLASIFICACIÓN DE LOS MISMOS. SE APLICARÁ EN PLENA VÍA O ESTACIÓN. INCLUYE ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS, VARIOS Y MEDIOS AUXILIARES. TRABAJO: NOCTURNO PLAN MARCO: 5 > 1 >= 3 HORAS GRADO DE DIFICULTAD: NORMAL	12,74	3.822	

**Presupuesto**

Número	Cantidad	Ud	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
<b>Total capítulo: 03.01</b>						<b>5.519,83</b>
<b>Capítulo: 03.02 VÍA EN PLACA</b>						
03.02.01 0V12P103	300,00	m	<b>MONTAJE DE PLACAS PREFABRICADAS VIA EN PLACA</b> DISTRIBUCION, COLOCACION Y MONTAJE DE PLACAS PREFABRICADAS PRETENSADAS PARA VIA EN PLACA, EN SU POSICION TEORICA, DENTRO DE TOLERANCIAS, CON MEDIOS TOPOGRAFICOS, INCLUIDO ALINEACION Y NIVELACION MEDIANTE CUPONES CORTOS, MEDIOS AUXILIARES Y POSTERIOR RETIRADA DE LOS DISPOSITIVOS DE ALINEACION-NIVELACION Y DE LOS CUPONES DE CARRIL, SEGUN ESPECIFICACIONES EN PLIEGO DE CONDICIONES TERMINADO	78,37	23.511	
03.02.02 0V12P057	500,00	ud	<b>PLACA PREFABRICADA VIA SIN BALASTO</b> SUMINISTRO DE PLACA PREFABRICADA PRETENSADA PARA VIA SIN BALASTO, SEGUN ESPECIFICACIONES EN PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS, INCLUSO TRANSPORTE Y DESCARGA HASTA LAS ZONAS DESIGNADAS POR EL ADIF.	1.155,72	577.860	
<b>Total capítulo: 03.02</b>						<b>601.371,00</b>
<b>Capítulo: 03.03 TRAVIESAS</b>						
03.03.01 0V12P101	300,00	m	<b>MONTAJE DE TRAVIESAS Y/O FIJACIONES VIA EN PLACA</b> DISTRIBUCION, COLOCACION Y MONTAJE DE TRAVIESAS Y ELEMENTOS DE FIJACION PARA VIA EN PLACA, EN SU POSICION TEORICA, DENTRO DE TOLERANCIAS, CON MEDIOS TOPOGRAFICOS, INCLUIDO ALINEACION Y NIVELACION MEDIANTE CUPONES CORTOS, MEDIOS AUXILIARES Y POSTERIOR RETIRADA DE LOS DISPOSITIVOS DE ALINEACION-NIVELACION Y DE LOS CUPONES DE CARRIL, SEGUN ESPECIFICACIONES EN PLIEGO DE CONDICIONES TERMINADO	67,6	20.280	
03.03.02 0V12P022	1.992,00	ud	<b>TRAVIESA BIBLOQUE POLIVALENTE B355.3 U60-20M-Ú</b> SUMINISTRO DE TRAVIESA BIBLOQUE POLIVALENTE DE HORMIGON ARMADO TIPO B355.3 U60-20M-Ú PARA VIA SIN BALASTO CON SUJECIONES, SEGUN ESPECIFICACIONES EN PLIEGO DE PRESCRIPCIONES, INCLUSO TRANSPORTE HASTA LAS ZONAS DE ACOPIO, BOCA DE TUNEL O CERCANIAS DESIGNADAS POR ADIF.	217,37	433.001,04	
03.03.03 0V1201194	1.992,00	ud	<b>CARGA DE TRAVIESA EN BASE O ZONA DE ACOPIO, CON CAMION. HORARIO NOCTURNO</b> CARGA DE TRAVIESA EN BASE O ZONA DE ACOPIO, TRANSPORTE EN CAMION A ZONA DE EMPLEO, DESCARGA Y COLOCACIÓN POSTERIOR EN LECHO DE BALASTO EN LA POSICION DEFINITIVA, INCLUSO RECOGIDA DE DURMIENTES, SU TRANSPORTE Y ACOPIO A ZONA DESIGNADA POR LA DIRECCION DE OBRA, INCLUSO ACARREOS INTERMEDIOS DE LA TRAVIESA, HORARIO NOCTURNO	5,72	11.394,24	
<b>Total capítulo: 03.03</b>						<b>464.675,28</b>

**Presupuesto**

Número	Cantidad	Ud	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
<b>Capítulo: 03.04 CARRILES</b>						
03.04.01 DV100310N	300,00	m	<b>MONTAJE DE VÍA EN BARRA CORTA SOBRE BALASTO. HORARIO NOCTURNO</b> MONTAJE DE VÍA EN BARRA CORTA. COMPUESTA POR CARRIL UIC-54 DE DUREZA 90-A DESCARGADO PREVIAMENTE EN TAJO Y TRAVIESA MONOBLOCK O DE MADERA, INCLUYENDO SUJECIÓN Y ACCESORIOS NECESARIOS, RECTIFICACION Y BATEO NECESARIO HASTA CUMPLIR LAS TOLERANCIAS CORRESPONDIENTES A ESTADO PREVIO A RECEPCION, PERFILADO DE BANQUETAS, LIMPIEZA Y ENRASADO DE PASEOS Y ENTREVIA HASTA CONSEGUIR LA SECCION TRANSVERSAL DEFINIDA EN PLANOS. HORARIO NOCTURNO	11,06	3.318	
03.04.02 DV130029N	300,00	m	<b>POSICIONADO Y MONTAJE DE CARRILES DE VIA</b> POSICIONADO Y MONTAJE DE LOS DOS CARRILES SOBRE TRAVIESA INCLUIDA LA SUJECION Y P. P. DE EMBRIDADO CON BRIDAS QUE PERMITAN EL BATEO, INCLUIDA ALINEACION.	3,37	1.011	
03.04.03 DV13K029N	300,00	m	<b>TRANSPORTE Y DESCARGA DE CARRIL EN BARRA CORTA DE 18 M DE ACOPIO A TRAZA. HORARIO NOCTURNO</b> TRANSPORTE DE CARRIL EN BARRA DE 18 METROS DE ZONA DE ACOPIO A ZONA DE MONTAJE. INCLUIDO CARGA EN ACOPIO Y DESCARGA EN TRAZA. HORARIO NOCTURNO	2,49	747	
03.04.04 V11261N	300,00	m	<b>Suministro de carril 54E1 en barra elemental</b> Suministro de carril 54E1 en barra elemental, cargada en vagon en la aceria. Incluso descarga en base de acopio o traza.	34,63	10.389	
<b>Total capítulo: 03.04</b>					<b>15.465,00</b>	

## Presupuesto

Número	Cantidad	Ud	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
<b>Capítulo: 03.05 ESTADOS DE RECEPCIÓN</b>						
03.05.01 V08007caa	300,00	m	<b>NIVELACIÓN, ALINEACIÓN Y PERFILADO DE VÍA. (N/5 A 3/N).</b> NIVELACIÓN, ALINEACIÓN Y PERFILADO DE VÍA. COMPRENDE LA MANO DE OBRA Y LOS ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS, VARIOS Y MEDIOS AUXILIARES NECESARIOS PARA LAS DESCARGAS Y REGULACIONES DE BALASTO Y LAS PASADAS NECESARIAS A REALIZAR CON BATEADORA Y PERFILADORA PESADA, PARA UN CORRECTO ACABADO. LOS TRABAJOS DE NIVELACIÓN Y PERFILADO CON MAQUINARIA PESADA DE VÍA, DISPONDRÁN DE LOS INTERVALOS FIGURADOS EN EL PLAN MARCO Y PROGRAMADOS PREVIAMENTE. EL ABONO DE LA TOTALIDAD DEL IMPORTE CORRESPONDIENTE A ESTA UNIDAD ESTARÁ CONDICIONADO A LA REALIZACIÓN DE LAS COMPROBACIONES, MEDICIONES Y / O INSPECCIONES DESCRITAS EN EL PPI Nº - 10. TRABAJO: NOCTURNO. PLAN MARCO: 5 > 1 >= 3 HORAS GRADO DE DIFICULTAD: NORMAL	2,44	732	
03.05.02 V19003baa	2,00	ud	<b>NEUTRALIZACIÓN DE TENSIONES EN BARRA LARGA (N/5 A 3/N).</b> NEUTRALIZACIÓN DE TENSIONES EN BARRA LARGA SOLDADA EN ALINEACIONES RECTAS O CURVAS DE RADIO EN PLANTA IGUALES O MAYORES A 500 M O CURVAS EN ALZADO CON RADIOS IGUALES O SUPERIORES A 4 000 M. INCLUYE: MANO DE OBRA PARA EL AFLOJADO DE SUJECIONES EN LA LONGITUD DE VÍA A TRATAR; FORMACIÓN DE PUNTOS FIJOS; COLOCACIÓN DE RODILLOS ENTRE EL CARRIL Y LA TRAVIESA ASÍ COMO SU POSTERIOR RETIRADA (QUITANDO LA PLACA DE ASIENTO Y VOLVIENDO A COLOCARLA), PARA FAVORECER EL DESLIZAMIENTO LONGITUDINAL DE LOS CARRILES CON PEQUEÑOS GOLPES PERCUTIDOS CON MARTILLOS DE MADERA O NYLON; MARCADO DE PUNTOS CADA 50M EN TRAVIESA Y CARRIL PARA EL CONTROL DEL DESPLAZAMIENTO DE LAS SEMIBARRAS; FORMACIÓN DE LA CALA DEFINITIVA CON TENSORES HIDRÁULICOS; APRETADO DE LA SUJECIÓN CON MOTOCLAVADORAS HIDRÁULICAS, QUE CUENTE CON ACEPTACIÓN DE USO DE ADIF. DOTADAS DE PAR DE APRIETE AJUSTADO AL TIPO DE SUJECIÓN TRATADA; MATERIALES Y CONSUMIBLES SITUADOS A PIE DE OBRA; CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL ELEMENTO REPARADO; EL USO DE MAQUINARIA Y EQUIPOS ESPECÍFICOS AUTORIZADOS POR ADIF; LA ENTREGA DEL ACTA DE NEUTRALIZACIÓN SEGUN N.A.V. NO SE INCLUYEN NI LOS CORTES NI LAS SOLDADURAS DE CARRIL. EL ABONO DE LA TOTALIDAD DEL IMPORTE CORRESPONDIENTE A ESTA UNIDAD ESTARÁ CONDICIONADO A LA REALIZACIÓN DE LAS COMPROBACIONES, MEDICIONES Y / O INSPECCIONES DESCRITAS EN EL PPI Nº - 9. TRABAJO: NOCTURNO PLAN MARCO: 5 > 1 >= 3 HORAS GRADO DE DIFICULTAD: NORMAL	3,95	7,9	
<b>Total capítulo: 03.05</b>					<b>739,90</b>	

**Presupuesto**

Número	Cantidad	Ud	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
<b>Capítulo: 03.06 SITUACIONES PROVISIONALES</b>						
03.06.01 DV110010	600,00	m	<b>DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL DE LA VIA AUXILIAR</b> DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL DE LA VIA AUXILIAR.	4,54	2.724	
03.06.02 DV110000	2,00	ud	<b>SUMINISTRO Y MONTAJE DESVIOS 2º USO TIPO C SOLDABLES - 54E1</b> SUMINISTRO Y MONTAJE DE DESVIOS DE 2º USO SOLDABLES TIPO C, 54E1, INCLUIDO CUPONES MIXTOS, MARMITAS, LEVANTE POSTERIOR, TRANSPORTE Y CORRECTO ACOPIO, FLEJADO Y ETIQUETADO EN EL LUGAR QUE INDIQUE LA DIRECCION DE OBRA.	31.823,88	63.647,76	
03.06.03 V05023000	1.710,00	m3	<b>EMPLEO DE BALASTO NUEVO O DE RECUPERACIÓN</b> EMPLEO DE BALASTO NUEVO O DE RECUPERACIÓN SITUADO EN PEQUEÑOS ACOPIOS O PROCEDENTE DE DESCARGA DE CAMIÓN, TOLVA, ETC. COMPRENDE LA MANO DE OBRA NECESARIA PARA LA RECOGIDA Y TRANSPORTE DEL LUGAR DE ACOPIO AL LUGAR DE EMPLEO, INDISTINTAMENTE DE LA DISTANCIA A QUE SE ENCUENTREN, LEVANTES SUCESIVOS DE VÍA O DESVIO, ETC., POR CAPAS DE ESPESOR NO SUPERIOR A 25 CM HASTA CONSEGUIR LA PRIMERA NIVELACIÓN, INCLUSO RAMPAS PROVISIONALES PARA PERMITIR EL TRÁFICO DURANTE LA EJECUCIÓN, CON LAS LIMITACIONES Y PRECAUCIONES QUE SE ESTABLEZCAN, ASÍ COMO LA COMPENSACIÓN POR LA PROTECCIÓN Y PARALIZACIÓN DE LOS EQUIPOS AL PASO DE LAS CIRCULACIONES, INCLUSO MAQUINARIA PESADA, LIGERA, VARIOS Y MEDIOS AUXILIARES, TRABAJO, NOCTURNO, PLAN MARCO: 5 > 1 >= 3 HORAS GRADO DE DIFICULTAD: NORMAL	30,25	51.727,5	
03.06.04 DV100001	1.710,00	m3	<b>SUMINISTRO DE BALASTO TIPO "1" PIEDRA SILICEA</b> SUMINISTRO DE BALASTO TIPO "1" DE PIEDRA SILICEA DE NUEVA APORTACION, INCLUSO CARGA EN CANTERA, DESCARGA PREPARACION DE LAS ERAS DE ALMACENAMIENTO, ACOPIO DEL MATERIAL EN CANTERA, VIGILANCIA DE ACOPIOS, ALMACENADO EN LOS ACOPIOS DE TRAZA ESTABLECIDOS, CON MANIPULACION, GESTION Y VIGILANCIA HASTA CARGA FINAL EN OBRA, MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES ASOCIADAS AL ACOPIO Y LAVADO PARA SU INCORPORACION FINAL.	18,83	31.857,3	
03.06.05 DV100010	300,00	m	<b>MONTAJE DE VIA EN BARRA CORTA SOBRE BALASTO</b> MONTAJE DE VÍA EN BARRA CORTA, COMPUESTA POR CARRIL UIC-54 DE DUREZA 90-A DESCARGADO PREVIAMENTE EN TAJO Y TRAVIESA MONOBLOCK O DE MADERA, INCLUYENDO SUJECIÓN Y ACCESORIOS NECESARIOS, RECTIFICACION Y BATEO NECESARIO HASTA CUMPLIR LAS TOLERANCIAS CORRESPONDIENTES A ESTADO PREVIO A RECEPCION, PERFILADO DE BANQUETAS, LIMPIEZA Y ENRASADO DE PASEOS Y ENTREVIA HASTA CONSEGUIR LA SECCION TRANSVERSAL DEFINIDA EN PLANOS.	10,86	3.258	
<b>Total capítulo: 03.06</b>					<b>153.214,56</b>	
<b>Total capítulo: 03</b>					<b>1.240.985,57</b>	
<b>Total presupuesto</b>					<b>4.729.241,28</b>	

**Resumen del Presupuesto**

Código	Descripción	Subtotal	Importe
Capítulo: 01	MOVIMIENTO DE TIERRAS	80.873,86	
Capítulo: 02	TÚNEL	3.407.382,05	
Capítulo: 03	VÍA	1.240.095,57	
<b>Total Presupuesto Ejecución Material (PEM)</b>			<b>4.729.241,28</b>

Asciende el Presupuesto de Ejecución Material a la expresada cantidad de: CUATRO MILLONES SETECIENTOS VEINTINUEVE MIL DOSCIENTOS CUARENTA Y UN EUROS CON VEINTIOCHO CENTIMOS

13 % Gastos Generales	614.801,37	
6 % Beneficio Industrial	283.754,48	
<b>Total Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)</b>		<b>5.627.797,13</b>
21 % I.V.A.	1.181.837,40	
<b>Total Presupuesto Base de Licitación (PBL)</b>		<b>6.909.634,53</b>

Asciende el presupuesto de Ejecución por Contrata a la expresada cantidad de SEIS MILLONES OCHOCIENTOS NUEVE MIL SEISCIENTOS TREINTA Y CUATRO EUROS CON CINCUENTA Y TRES CENTIMOS

Julio de 2020

# Bibliografía

- Adif. (2019). *El Corredor Atlántico*. Madrid: ADIF.
- Adif. (2017). *Ampliación gálibo túneles*. Recuperado de Vimeo: <https://url2.cl/vEudX>
- Adif. (2018). *Norma Adif Plataforma "Túneles"*. NAP 2-3-1.0+M1.
- Adif. (2019). *Contratación*. Recuperado de <https://url2.cl/bQqRg>
- Adif. (2019). *Manual de Capacidades ADIF*.
- Adif. (2020). *Adif, Corredores europeos*. Recuperado de <https://url2.cl/yTVSu>
- Adif. (2020). *Corredor Mediterráneo SIL*. Recuperado de <https://url2.cl/uiWIU>
- ADIF. (2020). *Declaración sobre la red*. Dirección de Gabinete y Gestión Corporativa.
- Adif. (2020). *Publicación pruebas Adif ancho variable en mercancías*. Recuperado de <https://url2.cl/5Rmbi>
- Adif. (2020). *Actuaciones en túneles (Anejo 12). Proyecto constructivo para la implantación del ancho estándar en el trayecto entre Astigarraga e Irún. Infraestructura y vía*.
- Alises, A. (2014). *¿Evoluciona la demanda de transporte de mercancías por carretera de acuerdo al PIB? Análisis de los factores que han generado el desacoplamiento actual en países europeos*. Centro de Investigación del Transporte (TRANSyT). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <https://url2.cl/raKQQ>
- Amberg e Infraes. (2020). *Informe inspección principal del túnel nº13 "De La Romera". Línea 44 Madrid-Barcelona. Trayecto: Alhama de Aragón - Ricla*.

- Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia. (2018). *Observatorio Estadístico del Transporte Marítimo de Corta Distancia de España*. SPC - Spain.
- Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia. (2020). *Observatorio Estadístico del Transporte Marítimo de Corta Distancia de España. Avance 1er trimestre*. SPC - SPAIN.
- Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia de España. (2019). *Observatorio Estadístico del Transporte Marítimo de Corta Distancia de España. Avance*. SPC - Spain.
- Autoridad Portuaria de Algeciras. (2018). *Memoria anual*. Algeciras: Algeciras Port.
- Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras. (2018). *Informe de gestión. Management report*. Algeciras: Algeciras Port.
- Awad, S. (2015). *¿Podría ser eficiente el ferrocarril español de mercancías?* Madrid: Fundación Francisco Corell.
- BasqueMobility. (2020). Basque Rail Way 2020. Kursaal-Donostia. Recuperado de: <https://url2.cl/xWWxP>
- Boira, J. V. (2020). *Reflexiones sobre la crisis COVID-19. 10 lecciones de la crisis del COVID-19 para el sistema de transporte y logística español. Un análisis de urgencia*. Valencia: Asociación Española de Geografía.
- Cadena de suministro. (2019). *Cadena de suministro. Noticias*. Recuperado de Adif pone en valor la conectividad del puerto de Algeciras con Europa y Marruecos: <https://url2.cl/pcaXT>
- Cano, M.J. (2015). *Análisis de registros de aceleraciones verticales en caja de grasa y correlación con la infraestructura*. Recuperado de Tesis doctoral: <https://url2.cl/2Be4n>

- Castelló, C. N. (2020). El coordinador del Corredor Mediterráneo: "Esta crisis debería acelerar la apuesta por el ferrocarril de mercancías". *eldiario.es*, pág. 1.
- CER, Community of european railway and infrastructure companies. (2019). *CER Policy Agenda 2019-2024. Ever better railways for an ever closer Union*. Bruselas: CER.
- Fundación Cetmo (2005). *El transporte en España, un sector estratégico. Informe sobre la aportación del transporte y sus retos futuros*.
- CincoDías. (2020). *Europa comienza a negociar un presupuesto billonario y su fondo de recuperación poscoronavirus*. Recuperado de <https://url2.cl/WLx8n>
- Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. (2019). *Colaboración y sinergias entre carretera y ferrocarril: los retos de las autopistas ferroviarias*. Madrid. Recuperado de <https://url2.cl/UhWVN>
- Comisión Europea. (2014). *Reglamento (UE) Nº 1299/2014 de la Comisión de 18 de noviembre de 2014 relativo a las especificaciones técnicas de interoperabilidad del subsistema "infraestructura" en el sistema ferroviario de la Unión Europea*. Diario Oficial de la Unión Europea.
- Comisión Europea. (2018). *El mecanismo "Conectar Europa" (MCE)*.
- Comisión Europea. (2019). *EU Transport in figures. Statistical Pocketbook*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Recuperado de <https://url2.cl/9xHIT>
- Comisión Europea. (2019). *The European Greed Deal*. Bruselas.
- Comisión Europea. (junio de 2020). *El presupuesto de la UE: motor del plan de recuperación para Europa*. Recuperado de #EUBudget #EUSolidarity #StrongerTofether: <https://url2.cl/T4jIM>
- Comisión Europea. (2020). *Plan de recuperación para Europa*. Recuperado de <https://url2.cl/cS6gw>
- Comisión Técnico Científica para el estudio de mejoras en el Sector Ferroviario. (2014). *Informe de la Comisión técnico-científica para el estudio de mejoras en el sector*

*ferroviario*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento.

Confederación Española de Transporte de Mercancías. (2020). *La IRU advierte que las pérdidas del transporte de mercancías a nivel mundial superará los 550.000 millones de euros en 2020*. Recuperado de <https://url2.cl/K5dKN>

CTN 25 Aplicaciones ferroviarias. (2017). *UNE-EN 15273-1:2013+A1. Aplicaciones ferroviarias. Gálidos. Parte 1: Generalidades. Reglas comunes para infraestructuras y material rodante*. Madrid: Asociación Española de Normalización.

CTN 25 Aplicaciones ferroviarias. (2017). *UNE-EN 15273-2:2013+A1. Aplicaciones ferroviarias. Gálidos. Parte 2: Gálidos del material rodante*. Madrid: Asociación Española de Normalización.

CTN 25 Aplicaciones ferroviarias. (2017). *UNE-EN 15273-3:2014+A1. Aplicaciones ferroviarias. Gálidos. Parte 3: Gálido de implantación de obstáculos*. Madrid: Asociación Española de Normalización.

Dirección General de Movilidad y Transportes, Comisión Europea. (2011). *Libro Blanco del Transporte*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.

El Vigía. (2020). *El ferrocarril reclama protagonismo en la reconstrucción de Europa*. Recuperado de <https://url2.cl/LTFBh>

Europe1. (2020). *Macron veut "redévelopper massivement" fret ferroviaire, trains de nuit et petites lignes*. *Europe1*. Recuperado de <https://url2.cl/Af69a>

Comisión Europea. (2014). *REGLAMENTO (UE) Nº1303/2014 DE LA COMISIÓN de 18 de noviembre de 2014 sobre la especificación técnica de interoperabilidad relativa a la "seguridad en los túneles ferroviarios" del sistema ferroviario de la Unión Europea*.

- Fundación Cetmo. (2005). *El transporte en España, un sector estratégico. Informe sobre la aportación del transporte y sus retos futuros.*
- Geocisa. (2001). *Hundimiento del Túnel de Dehesillas. Recuperación con inyecciones.* Alhama de Aragón (Zaragoza).
- Gobierno de Navarra. (2018). *Plan de aforos de tráfico.* Recuperado de <https://url2.cl/EwJCC>
- Grupo Alonso. (2019). *La terminal de Barcelona Can Tunis de Grupo Alonso acoge la primera autopista ferroviaria de España.* Recuperado de <https://url2.cl/vLauP>
- GTA. (2017). *Tunnel Enlargement Gantry TEP 8400.* Recuperado de GTA Maschinensysteme GmbH: <https://url2.cl/hsTT4>
- GTA. (2017). *Tunnel Enlargement Machine.* Hamminkeln (Alemania): GTA Maschinensysteme GmbH. Recuperado de <https://url2.cl/yyZy1>
- GTA Maschinensysteme GmbH. (22 de marzo de 2014). *GTA - Tunnel Enlargement Gantry 8400A (drill & blast).* Recuperado de Youtube: <https://url2.cl/acgWE>
- Guerra, J. (2017). *Manual de procedimientos constructivos en túneles.* (C. L. Jimeno, Ed.) Madrid: Grupo de Proyectos de Ingeniería. E.T.S.I. Minas y Energía - Universidad Politécnica de Madrid.
- Guerra, J. (Marzo de 2018). *Mega-túneles del siglo XXI.* (C. d. Públicas, Ed.) *Monográfico de túneles de la revista CIMBRA(441).*
- Guler, H. (2013). *Decision Support System for Railway Track Maintenance and Renewal Management. Journal of Computing in Civil Engineering.*
- Heraldo. (2020). *Bruselas empeora su previsión y espera que el PIB caiga un 8,7% en la eurozona.* Recuperado de <https://url2.cl/uFd1>
- Heraldo. (2020). *El gobierno declara proyecto prioritario la autopista ferroviaria Plaza-Algeciras. Heraldo.* Recuperado de <https://url2.cl/gZQN4>

- Instituto Geológico y Minero de España. (1983). *Magna 50 - Hoja 437 (Ateca)*. Servicio de publicaciones Ministerio de Industria. Recuperado de <https://url2.cl/WCiyH>
- La industria ferroviaria propone un paquete de medidas para paliar el impacto del COVID-19 en el sector.* (s.f.). Recuperado de Veintepies.com: <https://url2.cl/wANnw>
- La Vanguardia. (2020). *Cómo el coronavirus está acelerando el proceso de desglobalización*. Recuperado de <https://url2.cl/TvnuH>
- LFP Perthus. (2019). *Línea Figueras Perpignan*. Paris.
- Mediterranean Rail Freight Corridor. (2020). *Mediterranean Rail Freight Corridor*. Recuperado de Spain-France-Italy-Slovenia-Croatia-Hungary: <https://url2.cl/GRkpw>
- Ministerio de Fomento. (2013). *Estrategia logística de España*.
- Ministerio de Fomento. (2015). *Estudio para el desarrollo de autopistas ferroviarias en la Península Ibérica*. Madrid. Recuperado de <https://url2.cl/XE7dP>
- Ministerio de Fomento. (2015). *Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda PITVI 2012-2024*.
- Ministerio de Fomento. (2017). *Observatorio Transfronterizo*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica.
- Ministerio de Fomento. (2018). *Mapa de tráfico. Vehículos pesados y vehículos con mercancías peligrosas*.
- Ministerio de Fomento. (2018). *Observatorio Transfronterizo España-Portugal*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica.
- Ministerio de Fomento. (2018). *Observatorio Transfronterizo España-Portugal*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica.

- Ministerio de Fomento. (2019). *Observatorio de precios del transporte de mercancías por carretera en vehículos pesados*.
- Ministerio de Fomento. (2019). *Observatorio hispano-francés de Tráfico en los Pirineos. Suplemento al documento nº8, diciembre 2019*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica.
- Ministerio de Fomento. (2018). *Observatorio hispano-francés de Tráfico en los Pirineos. Documento nº 8. 2018*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica.
- Ministerio de Fomento; Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria. (2015). *Instrucción Ferroviaria de Gálivos. Orden FOM 1630/2015, de 14 de julio*. Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones.
- Ministerio de Fomento; Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria. (2019). *Nota aclaratoria sobre la aplicación de la Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la Instrucción Ferroviaria de Gálivos*.
- Ministerio de Fomento; Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer. (2018). *Servicios de Autopista Ferroviaria (AF) en los ejes Atlántico y Mediterráneo. Convocatoria de manifestaciones de interés. Consulta a los fabricantes y diseñadores de material móvil*. Recuperado de <https://url2.cl/Qatia>
- Ministerio de Fomento. (2017). *Observatorio del Ferrocarril en España (OFE)*.
- Ministerio de Hacienda. (2020). *Plataforma de contratación del sector público*. Recuperado de <https://url2.cl/NafVv>
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2019). *Encuesta Permanente de Transportes de Mercancías por Carretera (EPTMC)*.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2020). *Análisis y situación de la movilidad en España. Jornada Anual 7ª Edición, 23 Enero de 2020. Observatoriode Transporte y Logística en España* (pág. 29). Madrid: OTLE.

- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2020). *Transporte intermodal*. Recuperado de <https://url2.cl/CMzSA>
- Noticias de Navarra. (2020). Navarra implantará peajes a camiones en la N-121-A. <https://url2.cl/aMP1y>
- Parlamento Europeo. (2020). *El transporte ferroviario*. Recuperado de Fichas temáticas sobre la Unión Europea: <https://url2.cl/ShWQJ>
- Puertas, J. (2010). *Estimación de coste y plazo en proyectos de túneles ejecutados mediante excavación convencional y voladura*. Recuperado de Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona: <https://url2.cl/CMf2A>
- Rail Freight Forward. (2020). *Rail Freight Forward, European Rail Freight Vision 2030*. Recuperado de <https://url2.cl/G6H4s>
- Rodríguez, M. et al (2019). Ayuda a la toma de decisiones a través de modelos digitales de infraestructuras lineales. *EUBIM 2019. Congreso Internacional BIM / 8º Encuentro de Usuarios BIM* (<http://www.eubim.com/2019/>), 167-178. Recuperado de <https://url2.cl/pkWDq>
- Rodríguez, M. (2019). *Aplicación de modelos digitales 3D basados en nubes de puntos a los Sistemas de Gestión de Infraestructura Ferroviaria*. Madrid: Planificación, Gestión y Explotación de Infraestructuras. Universidad Europea de Madrid.
- Sancho, M. (2013). *Predicción del coste de la obra civil de un túnel ejecutado por métodos convencionales*. Recuperado de <https://url2.cl/uZVSD>
- Secretaría General de Transportes. (2019). *Observatorio del Transporte y la Logística en España*.
- Semprún, Á. (2020). El tren de mercancías ha sido un proyecto fallido. *El Economista*. Recuperado de <https://url2.cl/vjI6V>

- Takikawa, M. (2016). Innovation in Railway Maintenance utilizing Information and Communication Technology (Smart Maintenance Initiative). *Japan Railway & Transport Review*(67), 22-35.
- Transit. (2015). *Medida temporal de gestión del tráfico destinada a la circulación de determinados conjuntos de vehículos pesados para el transporte de mercancías en general*. Barcelona.
- Transporte profesional. (2020). *Reacción positiva del flujo de mercancías a la crisis del Covid-19*. Recuperado de <https://url2.cl/gaT22>
- Transporte XXI. (2020). *El pentágono de los tráficos ferroviarios*. Recuperado de Puertos de España: <https://url2.cl/av7t5>
- Transporte XXI. (2020). Puertos de España. Logistics made in Spain. *El periódico del transporte y la logística en España*, pág. 116.
- U.T.E. IBERINSA - IDEAM - GEOCONSULT. (s.f.). *Anejo Nº4. Geología y Geotecnia. As-Built Proyecto Constructivo: Línea de Alta velocidad Madrid Barcelona Frontera Francesa. Tramo: Madrid-Zaragoza. Subtramo: XI. Plataforma*. Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (G.I.F.).
- Unife. (2020). *Rail sector joint press release*. Recuperado de <https://url2.cl/WBZ81>
- Veintepies. (2020). *La industria ferroviaria propone un paquete de medidas para paliar el impacto del COVID-19 en el sector*. Recuperado de Veintepies.com: <https://url2.cl/2E2F2>
- Viacombi.eu. (2007). *Rolling highways in Europe*. Recuperado de <https://url2.cl/qv5DP>
- Villalón, J. C. (2017). *La política ferroviaria en España. Balance de su planificación y ejecución de los últimos treinta años*. Universidad de Sevilla, Departamento de Geografía Humana. Sevilla: Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles.

# Anexos

- 1.- ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**
- 2.- CÁLCULOS MODELO DE UTILIDAD**
- 3.- DEMANDA CAPTADA RESULTANTE**
- 4.- TRAYECTOS Y KILÓMETROS RECORRIDOS TOTALES**
- 5.- TRENES Y VAGONES A DISPONER**
- 6.- MAQUINISTAS NECESARIOS**
- 7.- CÁLCULOS INVERSIONES Y GASTOS**
- 8.- ESTUDIOS ECONÓMICOS-FINANCIEROS**

# Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Planteamiento metodológico del TFM (Fuente: Elaboración propia) .....	3
Ilustración 2: Red ferroviaria española gestionada por Adif y Adif AV (Fuente: ADIF, 2020).....	5
Ilustración 3: Kilómetros de línea (Fuente: Ministerio de Fomento, 2017).....	5
Ilustración 4: Velocidad media (km/h) de las mercancías (Fuente: Ministerio de Fomento, 2017) .....	6
Ilustración 5: Red y terminales de mercancías (Fuente: ADIF, 2020) .....	6
Ilustración 6: Mejoras en la red del Plan de Transporte Ferroviario 1987 (Fuente: Tranvia.org, 2004).....	8
Ilustración 7: Plan Director de Infraestructuras 1994 (Fuente: PDI, 1994) .....	9
Ilustración 8: Plan de Infraestructuras del Transporte 2000-2007 (Fuente: PEIT, 2000) .....	10
Ilustración 9: Plan de Infraestructuras y Transportes 2005-2020 (Fuente: PIT, 2005).....	11
Ilustración 10: Objetivos estratégicos del PITVI (Fuente: PITVI, 2012).....	12
Ilustración 11: Principales flujos de mercancías (Fuente: PITVI, 2012) .....	14
Ilustración 12: Corredores de la Red Básica (Fuente: Adif, 2020) .....	15
Ilustración 13: Presupuesto Conectar Europa (Fuente: Comisión Europea, 2018) .....	17
Ilustración 14: Evolución del número de víctimas 2005-2017. (Fuente: OFE, 2017).....	18
Ilustración 15: Evolución de la distribución de accidentes por tipo de vehículo (Fuente: OFE, 2017) .....	19
Ilustración 16: Carretera NA-121-A (Fuente: Navarra televisión, 2020).....	19
Ilustración 17: Riesgo de accidente mortal por modo de transporte (Fuente: (Comisión Técnico Científica para el estudio de mejoras en el Sector Ferroviario, 2014)).....	20
Ilustración 18: Consumo energético por sectores (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018) .....	20
Ilustración 19: Consumo de energía por unidad de tráfico, TJ/UT-km (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018).....	21
Ilustración 20: Consumo de energía en el transporte de mercancías por unidad de tráfico (carretera y ferrocarril), TJ/UT-km (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018) .....	21
Ilustración 21: Plan "The European Green Deal" (Fuente: Comisión Europea, 2019).....	22
Ilustración 22: Emisiones de GEI (toneladas eq. de CO2) respecto a consumo energético (TJ) por modos (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018) .....	23
Ilustración 23: Exposición de El Tren de Noé (Fuente: Rail Freight Forward, 2020) .....	24
Ilustración 24: Cadena intermodal (Fuente: Elaboración propia).....	24
Ilustración 25: Tráfico de mercancías en los puertos españoles (Fuente: PITVI, 2013) .....	25
Ilustración 26: Intermodalidad en los puertos españoles (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018).....	26
Ilustración 27: Tráficos internacionales en COVID-19 (Fuente: Logística.cdecomunicacion, 2020) .....	28
Ilustración 28: Next Generation EU (Fuente: Comisión Europea, 2020) .....	30

Ilustración 29: Tendencias actuales en la logística (Fuente: Ministerio de Fomento, 2013) .....	35
Ilustración 30: Análisis DAFO de la logística en España (Fuente: Ministerio de Fomento, 2013) .....	36
Ilustración 31: Evolución transporte de mercancías, interior y exterior (Fuente: OTLE, 2018) .....	38
Ilustración 32: Cuota modal del transporte de mercancías en ámbito nacional (millones de toneladas-kilómetro) (Fuente: OTLE, 2018).....	38
Ilustración 33: Reparto modal del transporte de mercancías, interior y exterior (Fuente: OTLE, 2018) .....	39
Ilustración 34: Comparación de cuotas modales del transporte nacional de mercancías (tn-km) (Fuente: OTLE, 2018) .....	39
Ilustración 35: Mill. toneladas-kilometro por kilómetro de red, 2017 (Fuente: UIC, 2018).....	40
Ilustración 36: Variación en la cuota del transporte intermodal (Fuente: OTLE, 2018) .....	40
Ilustración 37: Principales flujos de transporte ferroviario de mercancías en medio y largo recorrido (tn-km) (Fuente: OTLE, 2018) .....	41
Ilustración 38: Reparto toneladas netas por producto (Fuente: OTLE, 2018).....	41
Ilustración 39: Recorrido anual de los trenes de mercancías (Fuente: OFE, 2017) .....	42
Ilustración 40: Red Transeuropea ferroviaria. Corredores previstos (Fuente: Rail Net Europe, 2018) .....	43
Ilustración 41: Mapa del Corredor Mediterráneo (Fuente: Rail Net Europe, 2018) .....	44
Ilustración 42: Clasificación de la tecnología de AF (Fuente: Elaboración propia).....	46
Ilustración 43: Tecnología RoLa (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015) .....	47
Ilustración 44: Vagón de 10 ejes de plataforma baja (Fuente: Greenbrier, 2015) .....	47
Ilustración 45: Camiones en Friburgo de Brisgovia (Fuente: Swissinfo.ch, 2020) .....	48
Ilustración 46: Vagones porta-semirremolques Vossloh España (Fuente: Vossloh, 2015) .....	48
Ilustración 47: Carga del semirremolque en vagones Vossloh (Fuente: Vossloh, 2015).....	49
Ilustración 48: Operación con vagones Poche (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015) .....	49
Ilustración 49: Carga mediante grúa pórtico y reachstacker (Fuente: Hyster, 2020).....	49
Ilustración 50: Carga de un semirremolque con tecnología Nikrasa (Fuente: Nikrasa, 2020) .....	50
Ilustración 51: Sistema Modalhor (Fuente: Lohr Industrie, 2020).....	50
Ilustración 52: Carga de semirremolque con tecnología MegaSwing (Fuente: Kockums Industrier, 2020) .....	51
Ilustración 53: Carga de semirremolque con Flexiwaggon (Fuente: Flexiwaggon AB, 2020).....	52
Ilustración 54: Carga de un autobús con tecnología Flexiwaggon (Fuente: Flexiwaggon AB, 2020) .....	52
Ilustración 55: Carga de un semirremolque con CargoBeamer (Fuente: CargoBeamer, 2020) .....	53
Ilustración 56: Carga de un camión con tecnología Eco-Picker (Fuente: Metalsines, 2020).....	53
Ilustración 57: Tren formado por una estructura bimodal (Fuente: Rail Runner, 2020).....	54
Ilustración 58: Comparativa entre ROLA, Modalohr y vagón "poche" (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015) .....	54
Ilustración 59: Mapa de las primeras autopistas ferroviarias europeas (Fuente: Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2007) .....	55
Ilustración 60: Administrador LFP (Fuente: LFP, 2019).....	56

Ilustración 61: Línea Figueras-Perpignan en planta (Fuente: LFP, 2019).....	56
Ilustración 62: Línea Figueras-Perpignan en alzado (Fuente: LFP, 2019) .....	57
Ilustración 63: Normativa de referencia gálibos (Fuente: Ministerio de Fomento, 2017).....	58
Ilustración 64: Gálibos ferroviarios (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015) .....	59
Ilustración 65: Contornos de referencia (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015) .....	60
Ilustración 66: Gálibo en partes altas (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015).....	60
Ilustración 67: Gálibo en partes bajas (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015).....	61
Ilustración 68: Contornos de referencia de los gálibos cinemáticos GA, GB y GC, partes altas (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015).....	61
Ilustración 69: Contorno de referencia del gálibo cinemático GI3, partes bajas (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015).....	62
Ilustración 70: Fórmulas para determinar las separaciones (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015) .....	62
Ilustración 71: Gálibo uniforme GC (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015).....	63
Ilustración 72: Inscripción de la carga en los gálibos para el sistema RoLa (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015).....	65
Ilustración 73: Inscripción de la carga en los gálibos para el sistema propuesto por Sain-Gal (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018).....	65
Ilustración 74: Mapa de gálibos Francia 2012 (Fuente: Réseau Ferré de France, 2012).....	66
Ilustración 75: Mapa de gálibos Francia 2017 (Fuente: SNCF, 2017) .....	67
Ilustración 76: Nube de puntos de un túnel ferroviario (Fuente: Rodríguez, 2019) .....	69
Ilustración 77: Láser escáner montado sobre dresina de Adif (Fuente: Adif, 2018) .....	70
Ilustración 78: Elemento de transporte sobre la vía (Fuente: Leica, 2020).....	70
Ilustración 79: Nube de puntos de un túnel ferroviario (Fuente: Rodríguez, 2019) .....	71
Ilustración 80: Estudio de gálibos Túnel La Romera con <i>Amberg Rail</i> (Fuente: Adif, 2011).....	72
Ilustración 81: Nube de puntos, transición de sección de un túnel (Fuente: Rodríguez, 2019).....	72
Ilustración 82: Corredor Madrid-Zaragoza-Barcelona (Fuente: ADIF, 2020).....	73
Ilustración 83: Autopista ferroviaria Algeciras-Zaragoza (Fuente: Heraldo, 2020) .....	75
Ilustración 84: Estructura de la Fase II del Estudio (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015) .....	77
Ilustración 85: Zonificación del estudio analizado (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015) .....	78
Ilustración 86: Oferta de transporte en el corredor (Fuente: Elaboración propia).....	84
Ilustración 87: Superficie, población y PIB de las provincias del corredor (Fuente: Elaboración propia) .....	85
Ilustración 88: Fuente de datos de tráfico (Fuente: Elaboración propia).....	86
Ilustración 89: Mapa de tráfico 2018 (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018) .....	87
Ilustración 90: Transporte de mercancías a través de los Pirineos en 2016 (millones de toneladas) (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019).....	87
Ilustración 91: Pasos fronterizos España-Francia (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019).....	88
Ilustración 92: IMD de vehículos pesados en los puntos fronterizos de mayor tráfico en 2016 (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019) .....	88

Ilustración 93: Evolución de vehículos pesado por día en los puntos fronterizos (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019).....	89
Ilustración 94: Pasos fronterizos ferroviarios (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019) .....	89
Ilustración 95: Tráfico ferroviario de mercancías (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019) .....	90
Ilustración 96: Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019) .....	91
Ilustración 97: Evolución de las toneladas hacia países UE (Fuente: Elaboración propia).....	91
Ilustración 98: Distribución % año 2019 de toneladas transportadas desde España (Fuente: Elaboración propia).....	92
Ilustración 99: Transporte marítimo de corta distancia internacional Ro-Ro (Fuente: Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia, 2020) .....	92
Ilustración 100: Transporte marítimo de corta distancia en España, total (Fuente: Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia, 2020) .....	93
Ilustración 101: TMCD Internacional Ro-Ro según países de intercambio (Fuente: Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia, 2020) .....	93
Ilustración 102: Tráfico portuario (TON), Min. de T y M.U. (Fuente: Elaboración propia).....	94
Ilustración 103: Evolución de las operaciones portuarias (Fuente: Elaboración propia) .....	94
Ilustración 104: Flujos y estructura del transporte de mercancías entre España y Portugal por modo (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018) .....	95
Ilustración 105: Mercancías transportadas entre España y Portugal, por modos (Fuente: Ministerio de Fomento, 2018).....	95
Ilustración 106: IMD de vehículos pesados en los principales pasos fronterizos (Fuente: Ministerio de Fomento, 2017).....	96
Ilustración 107: Tipología y volumen de mercancías transportadas en España y Portugal por modo carretera, en comercio internacional, en 2015, miles de toneladas (Fuente: Ministerio de Fomento, 2017).....	96
Ilustración 108: Operaciones de transporte según Comunidades Autónomas (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019).....	97
Ilustración 109: Operaciones en vacío según Comunidades Autónomas (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019).....	98
Ilustración 110: Toneladas transportadas según Comunidades Autónomas (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019).....	99
Ilustración 111: Flujos interregionales, Comunidad de Madrid (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019) .....	100
Ilustración 112: Flujos interregionales, Aragón (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019) .....	101
Ilustración 113: Flujos interregionales, Cataluña (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019). .....	102
Ilustración 114: Evolución PIB en Europa (Fuente: Elaboración propia) .....	103
Ilustración 115: Variación anual del PIB en Europa (Fuente: Elaboración propia).....	103
Ilustración 116: Evolución PIB en España (Fuente: Elaboración propia) .....	104
Ilustración 117: Variación anual del PIB en Europa (Fuente: Elaboración propia).....	104
Ilustración 118: Evolución del PIB y la movilidad interior de mercancías (Fuente: Secretaría General de Transportes, 2019) .....	105

Ilustración 119: Evolución de la IMD anual de vehículos pesados el paso fronterizo de Le Perthus (Fuente: Elaboración propia).....	106
Ilustración 120: Variación anual de la IMD de vehículos pesados el paso fronterizo de Le Perthus (Fuente: Elaboración propia) .....	106
Ilustración 121: Impacto en el transporte de mercancías por la COVID-19 en el mundo (Fuente: Organización Internacional del Transporte, 2020) .....	107
Ilustración 122: Crecimiento real del PIB por área, en puntos porcentuales y escenario base (Fuente: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2020) .....	108
Ilustración 123: Descenso de la producción potencial con arreglo a las políticas actuales (Fuente: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2020) .....	108
Ilustración 124: Estimación de tasas de crecimiento (Fuente: Elaboración propia) .....	109
Ilustración 125: Matriz O-D del tráfico de mercancías (Fuente: Elaboración propia) .....	110
Ilustración 126: Número de operaciones en vacío (Fuente: Elaboración propia) .....	111
Ilustración 127: Operaciones útiles (Fuente: Elaboración propia) .....	111
Ilustración 128: Operaciones de transporte según tipo de desplazamiento por clases (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019).....	112
Ilustración 129: Evolución del transporte de mercancías por carretera, por tipo de mercancía (Fuente: Ministerio de Fomento, 2019).....	113
Ilustración 130: Filtro aplicado, por tipo de mercancía (Fuente: Elaboración propia) .....	113
Ilustración 131: Operaciones útiles tras filtro de mercancías (Fuente: Elaboración propia) .....	114
Ilustración 132: Operaciones con filtros aplicados (Fuente: Elaboración propia).....	115
Ilustración 133: Demanda global apta para AF (Fuente: Elaboración propia).....	115
Ilustración 134: Previsión de la evolución de la demanda hasta año horizonte (Fuente: Elaboración propia) .....	116
Ilustración 135: Coeficientes obtenidos de las PD (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015) .....	117
Ilustración 136: Variación interanual del IPC (previsiones) (Fuente: Funcas, 2020) .....	118
Ilustración 137: Índice del precio medio por kilómetro en España (Fuente: Ministerio de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019).....	118
Ilustración 138: Evolución de las tarifas a la inflación (Fuente: Elaboración propia) .....	119
Ilustración 139: Ejemplo cálculo del modelo de utilidad (Fuente: Elaboración propia).....	121
Ilustración 140: Cambios en la captación en función de la tarifa (Fuente: Elaboración propia).....	122
Ilustración 141: Demanda captada en función de la tarifa (Fuente: Elaboración propia) .....	123
Ilustración 142: Ingresos captados en función de la tarifa (Fuente: Elaboración propia).....	124
Ilustración 143: Demanda captada en función de la tarifa (Fuente: Elaboración propia) .....	126
Ilustración 144: Ingresos generados en función de la tarifa (Fuente: Elaboración propia) .....	127
Ilustración 145: Capacidad de la línea según Declaración de Red (Fuente: Elaboración propia).....	128
Ilustración 146: Mapa de capacidades de la red (Fuente: Adif, 2019) .....	129
Ilustración 147: Ficha de capacidad de la línea (Fuente: Adif, 2019) .....	130

Ilustración 148: Demanda captada resultante (Fuente: Elaboración propia) .....	131
Ilustración 149: Trayectos totales (Fuente: Elaboración propia).....	131
Ilustración 150: Kilómetros recorridos totales (Fuente: Elaboración propia) .....	131
Ilustración 151: Trenes a disponer a lo largo de los años (Fuente: Elaboración propia).....	132
Ilustración 152: Vagones a disponer a lo largo de los años (Fuente: Elaboración propia).....	132
Ilustración 153: Maquinistas necesarios a lo largo de los años (Fuente: Elaboración propia).....	132
Ilustración 154: Inversiones y gastos para una tarifa de 0,1 €/km (Fuente: Elaboración propia).....	135
Ilustración 155: Inversiones y gastos para una tarifa de 0,4 €/km (Fuente: Elaboración propia).....	136
Ilustración 156: Inversiones y gastos para una tarifa de 0,5 €/km (Fuente: Elaboración propia).....	137
Ilustración 157: Inversiones y gastos para una tarifa de 0,75 €/km (Fuente: Elaboración propia).....	138
Ilustración 158: Estudio económico-financiero para una tarifa de 0,1 €/km (Fuente: Elaboración propia).....	141
Ilustración 159: Estudio económico-financiero para una tarifa de 0,4 €/km (Fuente: Elaboración propia).....	142
Ilustración 160: Estudio económico-financiero para una tarifa de 0,5 €/km (Fuente: Elaboración propia).....	143
Ilustración 161: Estudio económico-financiero para una tarifa de 0,75 €/km (Fuente: Elaboración propia).....	144
Ilustración 162: Pruebas del eje de ancho variable en mercancías (Fuente: Adif, 2020).....	146
Ilustración 163: Circulaciones semanales en el tramo (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	146
Ilustración 164: Ubicación del túnel de La Romera (Fuente: Elaboración propia) .....	147
Ilustración 165: Sección tipo Túnel de La Romera (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	148
Ilustración 166: Tecnología GRP System FX (Fuente: Amberg, 2020).....	149
Ilustración 167: Canal visible, imágenes del túnel La Romera (Fuente: ICYFSA, 2011) .....	150
Ilustración 168: Reporte de gálibos del túnel La Romera (Fuente: ICYFSA, 2011) .....	150
Ilustración 169: Sección del túnel La Romera en el P.K. 227/095 (Fuente: ICYFSA, 2011).....	151
Ilustración 170: Nube de puntos del túnel La Romera (Fuente: Elaboración propia) .....	151
Ilustración 171: Detalle reflectividad de la nube de puntos (Fuente: Elaboración propia).....	152
Ilustración 172: Nube de puntos LIDAR tratada (Fuente: Elaboración propia) .....	153
Ilustración 173: Superficie generada a partir de LIDAR, con ortofoto (Fuente: Elaboración propia) .....	153
Ilustración 174: Superficie topográfica, curvas de nivel y nube de puntos del túnel. Emboquille de entrada (Fuente: Elaboración propia).....	153
Ilustración 175: Superficie topográfica, curvas de nivel y nube de puntos del túnel. Emboquille de salida (Fuente: Elaboración propia) .....	154
Ilustración 176: Detalle del sostenimiento en sillería (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	154
Ilustración 177: Restos de humedades y áreas mojadas de filtraciones en el hastial izquierdo P.K. 226+899 (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) ...	155
Ilustración 178: Humedades en la mampostería reflejada en la nube de puntos (Fuente: Elaboración propia) .....	155
Ilustración 179: Detalles de las oquedades producidas por el desprendimiento de varias piezas P.K. 227+078 (Fuente: Amberg e Infraes, 2020)	156

Ilustración 180: Detalle de los fragmentos desprendido sobre la plataforma. P.K. 227+070 (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	156
Ilustración 181: Zonas de hormigón proyectado en bóveda y hastiales (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	157
Ilustración 182: Tramos reforzados del túnel con sección ampliada (Fuente: Elaboración propia) .....	157
Ilustración 183: Línea de bulones en hastial izquierdo (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	158
Ilustración 184: Detalle de área de armadura oxidada al descubierto P.K. 226+975 (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	158
Ilustración 185: Detalle de la falta de recubrimiento P.K. 226+980 (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	159
Ilustración 186: Drenes en el pie del hastial izquierdo (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	159
Ilustración 187: Primer tramo del túnel (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	160
Ilustración 188: Lámina de impermeabilización en la nube de puntos (Fuente: Elaboración propia) .....	160
Ilustración 189: Detalle del tramo de lámina fundida en el hombro izquierdo (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	161
Ilustración 190: Detalle de la lámina desgarrada por rozaduras en el hombro izquierdo (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	161
Ilustración 191: Modelo del emboquille de entrada (Fuente: Elaboración propia) .....	162
Ilustración 192: Emboquille de entrada (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	162
Ilustración 193: Emboquille de entrada y trinchera (Fuente: Google Earth, 2020) .....	163
Ilustración 194: Modelo del emboquille de entrada (Fuente: Elaboración propia) .....	163
Ilustración 195: Emboquille de salida (Fuente: Amberg e Infraes, 2020) .....	164
Ilustración 196: Emboquille de salida (Fuente: Google Earth, 2020) .....	164
Ilustración 197: Modelo del emboquille de salida (Fuente: Elaboración propia) .....	165
Ilustración 198: Gálibo nominal GC (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015) .....	178
Ilustración 199: Gálibo nominal GEC16 (Fuente: Ministerio de Fomento, 2015) .....	178
Ilustración 200: Aplicación de gálibos GEC16 y GC en el túnel actual (Fuente: Elaboración propia) .....	179
Ilustración 201: Sección 3D con la limitación de gálibo en la nube de puntos (Fuente: Elaboración propia) .....	180
Ilustración 202: Mapa geológico de la zona de estudio, Hoja 437 Ateca (Fuente: Instituto Geológico y Minero de España, 2020) .....	181
Ilustración 203: Corte geológico de la zona (Fuente: Instituto Geológico y Minero de España, 2020) .....	181
Ilustración 204: Puntos de observación (Fuente: Elaboración propia) .....	182
Ilustración 205: PO1, imagen 1 (Fuente: Google Earth, 2020) .....	182
Ilustración 206: PO1, imagen 2 (Fuente: Google Earth, 2020) .....	183
Ilustración 207: PO2, imagen 1 (Fuente: Google Earth, 2020) .....	183
Ilustración 208: PO2, imagen 2 (Fuente: Google Earth, 2020) .....	183
Ilustración 209: PO2, imagen 3 (Fuente: Google Earth, 2020) .....	184
Ilustración 210: PO3, imagen 1 (Fuente: Google Earth, 2020) .....	184
Ilustración 211: PO3, imagen 2 (Fuente: Google Earth, 2020) .....	184

Ilustración 212: Perfil geológico de Dehesillas (Fuente: Adif, 2001) .....	185
Ilustración 213: Clasificación geomecánica Rock Mass Rating (Fuente: Bieniawski, 1989) .....	186
Ilustración 214: Parámetros adoptados. Grupo 4 (Fuente: Adif, 2001) .....	187
Ilustración 215: Clasificación geomecánica. Grupo 4 (Fuente: Adif, 2001) .....	187
Ilustración 216: Parámetros adoptados. Grupo 5 (Fuente: Adif, 2001) .....	188
Ilustración 217: Clasificación geomecánica. Grupo 5 (Fuente: Adif, 2001) .....	188
Ilustración 218: Tipo de macizo rocoso según grupos geotécnicos (Fuente: Adif, 2001) .....	189
Ilustración 219: Comparación geotecnia prevista vs real (Fuente: Adif, 2001).....	189
Ilustración 220: Paraguas de micropilotes en la obra de emergencia (Fuente: Geocisa, 2001) .....	191
Ilustración 221: Normativa específica de túneles ferroviarios (NAP y ETI) (Fuente: ADIF, 2020) .....	193
Ilustración 222: Sección tipo ampliada (Fuente: Elaboración propia).....	195
Ilustración 223: Sostenimiento según Bieniawski (Fuente: Bieniawski, 1989) .....	196
Ilustración 224: Sostenimiento según Romana (Fuente: Romana, 2000) .....	197
Ilustración 225: Modelo BIM del túnel ampliado, 1 (Fuente: Elaboración propia) .....	200
Ilustración 226: Modelo BIM del túnel ampliado, 2 (Fuente: Elaboración propia) .....	201
Ilustración 227: Tramificación de sostenimientos (Fuente: Elaboración propia).....	201
Ilustración 228: Ampliación de la trinchera (Fuente: Elaboración propia).....	202
Ilustración 229: Falso túnel con relleno (Fuente: Elaboración propia).....	202
Ilustración 230: Elementos del falso túnel (Fuente: Elaboración propia) .....	203
Ilustración 231: Sostenimiento del tramo 2 y 3 (Fuente: Elaboración propia).....	203
Ilustración 232: Elementos del tramo 2 (Fuente: Elaboración propia).....	204
Ilustración 233: Elementos del tramo 3 (Fuente: Elaboración propia).....	204
Ilustración 234: Modelo BIM del tramo 4 (Fuente: Elaboración propia).....	205
Ilustración 235: Elementos del tramo 4 (Fuente: Elaboración propia).....	205
Ilustración 236: Sostenimiento de los tramos 5 y 6 (Fuente: Elaboración propia).....	206
Ilustración 237: Sección de la solución del emboquille de salida (Fuente: Elaboración propia).....	207
Ilustración 238: Camino de acceso afectado por la ampliación (Fuente: Google Earth, 2020).....	207
Ilustración 239: Estructura del emboquille de salida y reposición del camino de acceso a fincas (Fuente: Elaboración propia) .....	208
Ilustración 240: Detalle de impermeabilización y drenaje (Fuente: Elaboración propia) .....	209
Ilustración 241: Índice Cerchar (Fuente: Elaboración propia) .....	210
Ilustración 242: Franjas del Índice de Schimazek (Fuente: Elaboración propia) .....	211
Ilustración 243: Clasificación simplificada de los macizos rocosos (Fuente: Romana, 1981).....	212

Ilustración 244: Excavabilidad siguiendo el criterio de Romana (Fuente: Romana 2006) .....	212
Ilustración 245: Ampliación de túneles de referencia. Ubicación (Fuente: Elaboración propia) .....	214
Ilustración 246: Máquina de ampliación de gálibos (Fuente: GTA, 2017) .....	215
Ilustración 247: Máquina ubicada en emboquille, con vía única (Fuente: GTA, 2017) .....	216
Ilustración 248: Demolición del túnel en el emboquille, con protección del escudo (Fuente: GTA, 2017) .....	217
Ilustración 249: Circulación entre la máquina y por la sección ampliada (Fuente: GTA, 2017) .....	217
Ilustración 250: Excavación superior y retirada de material por el lateral (Fuente: GTA, 2017) .....	217
Ilustración 251: Partes de la máquina de ampliación de gálibos, más back-up (Fuente: GTA, 2017) .....	218
Ilustración 252: Brazos superior y laterales de excavación (Fuente: GTA, 2017) .....	219
Ilustración 253: Brazos perforadores (Fuente: GTA, 2017) .....	220
Ilustración 254: Plataformas superiores de trabajo convertibles (Fuente: GTA, 2017) .....	220
Ilustración 255: Plataformas inferiores de trabajo convertibles (Fuente: GTA, 2017) .....	221
Ilustración 256: Pasarelas de trabajo (Fuente: GTA, 2017) .....	221
Ilustración 257: Trabajos de perforación sobre la máquina (Fuente: GTA, 2017) .....	221
Ilustración 258: Back-up de la máquina de ampliación (Fuente: GTA, 2017) .....	222
Ilustración 259: TES colocada en vía en Gaintxurizketa (Fuente: Bidasotarra blogspot, 2017) .....	222
Ilustración 260: Máquina TES colocada en emboquille para el inicio de la ampliación (Fuente: Periódico construcción, 2018) .....	223
Ilustración 261: Sección ampliada en emboquille por máquina TES. Circulación del servicio de cercanías por la vía centrada (Fuente: Bidasotarra blogspot, 2017) .....	223
Ilustración 262: Cargadora LHD para obras subterráneas (Fuente: Yepes, 2016) .....	225
Ilustración 263: Demolición y excavación de la sección ampliada (Fuente: GTA, 2014) .....	226
Ilustración 264: Gunitado de bóveda y hastiales (Fuente: GTA, 2014) .....	226
Ilustración 265: Perforación (Fuente: GTA, 2014) .....	226
Ilustración 266: Estado actual del túnel (Fuente: Adif, 2017) .....	227
Ilustración 267: Instalación de catenaria rígida central, paso de doble vía a vía única provisional central y cimentaciones guías de rodadura maquinaria TES (Fuente: Adif, 2017) .....	227
Ilustración 268: Ampliación de la maquinaria TES (Fuente: Adif, 2017) .....	228
Ilustración 269: Sellado y sostenimiento (Fuente: Adif, 2017) .....	228
Ilustración 270: Revestimiento, catenaria definitiva en vía 1, desplazamiento de vía 1 provisional, y hormigonado de losa y andén en vía 2 (Fuente: Adif, 2017) .....	229
Ilustración 271: Montaje de vía 2 y catenaria definitiva (Fuente: Adif, 2017) .....	229
Ilustración 272: Montaje de vía 1 y puesta en servicio (Fuente: Adif, 2017) .....	230
Ilustración 273: Coste metro lineal en función de la sección y el RMR (Fuente: Sancho, 2013) .....	233

Ilustración 274: Coste metro lineal de túnel en función de la sección (Fuente: Puertas, 2010).....	233
Ilustración 275: Modelo completo del túnel de La Romera (Fuente: Elaboración propia).....	234
Ilustración 276: Determinación geométrica y estudio de gálibos mediante la nube de puntos (Fuente: Elaboración propia) .....	235
Ilustración 277: Vinculación de información a la nube de puntos (Fuente: Elaboración propia) .....	235
Ilustración 278: Modelo completo del emboquille de entrada (Fuente: Elaboración propia).....	236
Ilustración 279: Modelo BIM con todos los elementos (Fuente: Elaboración propia).....	236
Ilustración 280: Sostenimiento del modelo BIM (Fuente: Elaboración propia) .....	237
Ilustración 281: Modelo completo del emboquille de salida (Fuente: Elaboración propia) .....	237
Ilustración 282: Vinculación de información al modelo (Fuente: Elaboración propia) .....	238
Ilustración 283: Detección de colisiones en modelo BIM (Fuente: Elaboración propia).....	238
Ilustración 284: Procedimiento constructivo con el modelo BIM (Elaboración propia) .....	240

# Cálculos del modelo de utilidad









0,508														0,127		0,95		% captación		Demanda		Volumen											
2040														R_DIST	R_PFOI	R_PFOI	%	R_PFOI	U(careta)	R_PPK	AF_PPK	GT_AF_R	AF_SECU	AF_DIST	U (AF)	Probabilidad	Probabilidad	Demanda	Demanda	Volumen	Volumen		
														km	€/km	€	%	(2025)	(€/km)	(€/km)	(€/km)	(€/km)	(€/km)	(€/km)	(€/km)	usado	usado	Apta 2040	Apta 2040	(Vp/seg)	(Vp/seg)		
														Madrid	Zaragoza	329	0,508	167.057562	30%	217.174811	4.896	0,127	43.038249	-1,3	0,95	339	3.080	11,99%	86,02%	160	17	22	22
														Zaragoza	294	0,508	149.285481	30%	194.071125	5.032	0,127	42.272164	-1,3	0,95	333	3.007	12,82%	87,38%	167	21	20	20	
														Barcelona	619	0,508	314.311948	30%	408.605513	3.773	0,127	67.848879	-0,5	0,95	692	2.103	16,27%	83,73%	427	47	69	69	
														España	634	0,508	321.928554	30%	418.507211	3.715	0,127	67.293266	0,8	0,95	652	2.798	14,46%	71,44%	356	39	59	59	
														España	Almería	1305	0,508	662.644737	30%	861.438158	1.117	0,127	167.692279	12,0	0,95	1521	6.092	47,03%	52,97%	432	203	242	242
														España	Navla	1340	0,508	683.483463	30%	886.502499	0,958	0,127	172.309198	23,0	0,95	1558	1.495	61,56%	38,44%	227	140	140	140
														España	Huelva	1302	0,508	762.676365	30%	899.479014	0,514	0,127	180.562551	23,0	0,95	1546	1.912	63,99%	36,01%	156	99	99	99
														España	Híjica	1345	0,508	682.955687	30%	887.842383	0,962	0,127	172.008354	23,0	0,95	1555	1.443	61,81%	38,19%	111	69	69	69
														DETANEO (AF)																431.696			
0,508														0,190		0,95		% captación		Demanda		Volumen											
2040														R_DIST	R_PFOI	R_PFOI	%	R_PFOI	U(careta)	R_PPK	AF_PPK	GT_AF_R	AF_SECU	AF_DIST	U (AF)	Probabilidad	Probabilidad	Demanda	Demanda	Volumen	Volumen		
														Madrid	Zaragoza	329	0,508	167.057562	30%	217.174811	4.896	0,190	54.507973	-1,3	0,95	339	3.026	13,70%	86,29%	160	19	22	22
														Zaragoza	294	0,508	149.285481	30%	194.071125	5.032	0,190	45.4082464	-1,3	0,95	333	3.036	11,97%	88,02%	167	20	20	20	
														Barcelona	619	0,508	314.311948	30%	408.605513	3.773	0,190	131.767287	-0,5	0,95	692	2.009	14,83%	85,17%	427	47	62	62	
														España	634	0,508	321.928554	30%	418.507211	3.715	0,190	124.026861	0,8	0,95	652	2.489	29,21%	73,29%	356	513	513	513	
														España	Almería	1305	0,508	662.644737	30%	861.438158	1.117	0,190	251.538419	12,0	0,95	1521	6.759	41,13%	58,87%	432	178	178	178
														España	Navla	1340	0,508	683.483463	30%	886.502499	0,958	0,190	236.381878	23,0	0,95	1558	1.488	58,74%	41,26%	227	140	140	140
														España	Huelva	1302	0,508	762.676365	30%	899.479014	0,514	0,190	249.381293	23,0	0,95	1546	1.911	58,88%	41,12%	156	99	99	99
														España	Híjica	1345	0,508	682.955687	30%	887.842383	0,962	0,190	238.012334	23,0	0,95	1555	1.397	55,86%	44,14%	111	62	62	62
														DETANEO (AF)																391.038			
0,508														0,254		0,95		% captación		Demanda		Volumen											
2040														R_DIST	R_PFOI	R_PFOI	%	R_PFOI	U(careta)	R_PPK	AF_PPK	GT_AF_R	AF_SECU	AF_DIST	U (AF)	Probabilidad	Probabilidad	Demanda	Demanda	Volumen	Volumen		
														Madrid	Zaragoza	329	0,508	167.057562	30%	217.174811	4.896	0,254	86.265699	-1,3	0,95	339	3.673	13,58%	87,42%	160	22	22	22
														Zaragoza	294	0,508	149.285481	30%	194.071125	5.032	0,254	54.543285	-1,3	0,95	333	3.076	11,53%	88,46%	167	19	20	20	
														Barcelona	619	0,508	314.311948	30%	408.605513	3.773	0,254	176.697165	-0,5	0,95	692	2.383	13,13%	86,87%	427	36	36	36	
														España	634	0,508	321.928554	30%	418.507211	3.715	0,254	122.444118	0,8	0,95	652	2.903	16,62%	83,38%	356	469	469	469	
														España	Almería	1305	0,508	662.644737	30%	861.438158	1.117	0,254	385.484559	12,0	0,95	1521	6.518	35,47%	64,53%	432	153	153	153
														España	Navla	1340	0,508	683.483463	30%	886.502499	0,958	0,254	344.739773	23,0	0,95	1558	1.922	49,60%	50,40%	227	111	111	111
														España	Huelva	1302	0,508	762.676365	30%	899.479014	0,514	0,254	392.902695	23,0	0,95	1546	1.959	49,91%	50,09%	156	78	78	78
														España	Híjica	1345	0,508	682.955687	30%	887.842383	0,962	0,254	344.016712	23,0	0,95	1555	1.951	49,74%	50,26%	111	55	55	55
														DETANEO (AF)																351.577			
0,508														0,317		0,95		% captación		Demanda		Volumen											
2040														R_DIST	R_PFOI	R_PFOI	%	R_PFOI	U(careta)	R_PPK	AF_PPK	GT_AF_R	AF_SECU	AF_DIST	U (AF)	Probabilidad	Probabilidad	Demanda	Demanda	Volumen	Volumen		
														Madrid	Zaragoza	329	0,508	167.057562	30%	217.174811	4.896	0,317	107.584652	-1,3	0,95	339	3.896	14,91%	85,09%	160	19	22	22
														Zaragoza	294	0,508	149.285481	30%	194.071125	5.032	0,317	56.680941	-1,3	0,95	333	3.015	10,70%	89,29%	167	18	20	20	
														Barcelona	619	0,508	314.311948	30%	408.605513	3.773	0,317	239.612465	-0,5	0,95	692	2.758	11,76%	88,24%	427	30	30	30	
														España	634	0,508	321.928554	30%	418.507211	3.715	0,317	122.444118	0,8	0,95	652	2.841	10,88%	89,12%	356	418	418	418	
														España	Almería	1305	0,508	662.644737	30%	861.438158	1.117	0,317	419.230698	12,0	0,95	1521	6.778	30,19%	69,81%	432	130	130	130
														España	Navla	1340	0,508	683.483463	30%	886.502499	0,958	0,317	409.672962	23,0	0,95	1558	1.899	43,47%	56,53%	227	99	99	99
														España	Huelva	1302	0,508	762.676365	30%	899.479014	0,514	0,317	490.826383	23,0	0,95	1546	1.959	49,91%	50,09%	156	67	67	67
														España	Híjica	1345	0,508	682.955687	30%	887.842383	0,962	0,317	430.028989	23,0	0,95	1555	1.905	43,82%	56,18%	111	48	48	48
														DETANEO (AF)																319.919			
0,508														0,381		0,95		% captación		Demanda		Volumen											
2040														R_DIST	R_PFOI	R_PFOI	%	R_PFOI	U(careta)	R_PPK	AF_PPK	GT_AF_R	AF_SECU	AF_DIST	U (AF)	Probabilidad	Probabilidad	Demanda	Demanda	Volumen	Volumen		
														Madrid	Zaragoza	329	0,508	167.057562	30%	217.174811	4.896	0,381	129.103475	-1,3	0,95	339	3.884	15,28%	84,72%	160	19	22	22
														Zaragoza	294	0,508	149.285481	30%	194.071125	5.032	0,381	60.939629	-1,3	0,95	333	2.955	10,33%	89,67%	167	18	20	20	
														Barcelona	619	0,508	314.311948	30%	408.605513	3.773	0,381	263.349474	-0,5	0,95	692	2.612	10,52%	89,48%	427	45	45	45	
														España	634	0,508	321.928554	30%	418.507211	3.715	0,381	122.444118	0,8	0,95	652	2.729	10,44%	89,56%	356	396	396	396	
														España	Almería	1305	0,508	662.644737	30%	861.438158	1.117	0,381	430.078838	12,0	0,95	1521	6.910	25,39%	74,61%	432	110	110	110
														España	Navla	1340	0,508	683.483463	30%	886.502499	0,958	0,381	437.167559	23,0	0,95	1558	1.849	37,54%	62,46%	227	85	85	85
														España	Huelva	1302	0,508	762.676365	30%	899.479014	0,514	0,381	508.368732	23,0	0,95	1546	1.921	48,24%	51,76%	156	57	57	57
														España	Híjica	1345	0,508	682.955687	30%	887.842383	0,962	0,381	436.025068	23,0	0,95	1555	1.499	37,70%	62,30%	111	42	42	42
														DETANEO (AF)																278.592			
0,508														0,444		0,95		% captación		Demanda		Volumen											
2040														R_DIST	R_PFOI	R_PFOI	%	R_PFOI	U(careta)	R_PPK	AF_PPK	GT_AF_R	AF_SECU	AF_DIST	U (AF)	Probabilidad	Probabilidad	Demanda	Demanda	Volumen	Volumen		
														Madrid	Zaragoza	329	0,508	167.057562	30%	217.174811	4.896	0,444	150.818847	-1,3	0,95	339	3.772	16,28%	83,72%	160	17	22	22
														Zaragoza	294	0,508	149.285481	30%	194.071125	5.032	0,444	67.929271	-1,3	0,95	333	2.795	9,83%	90,17%	167	16	14	14	
														Barcelona	619	0,508	314.311948	30%	408.605513	3.773	0,444	307.401701	-0,5	0,95	692	2.506	9,39%	90,61%	427	40	40	40	
														España	634	0,508	321.928554	30%	418.507211	3.715	0,444	122.444118	0,8	0,95	652	2.806	10,17%	89,83%	356	374	374	374	
														España	Almería	1305	0,508	662.644737	30%	861.438158	1.117	0,444	480.229777	12,0	0,95	1521	6.923	21,32%	78,68%	432	91	91	91
														España	Navla	1340	0,508	683.483463	30%	886.502499	0,958	0,444	469.301212	23,0	0,95	1558	1.820	31,56%	68,44%	227	73	73	73
														España	Huelva	1302	0,508	762.676365	30%	899.479014	0,514	0,444	544.044444	23,0	0,95	1546	1.929	48,11%	51,89%				



0,572													0,143			0,90			% casación		
R_DIST	R_PFOI	R_PFOI	R_PFOI	%ccrec	R_PFOI	U(carretera)	V_PPRX	AF_PPRX	GT_AF_R	AF_SECU	AF_DEST	U (AF)	Probabilidad	Probabilidad	Demanda	Volumen					
Km	(D518) (C/m)	(D518) (C/m)	(D518) (C/m)		D055		(K/h)	(K/h)					Ferrocarril	carretera	Año 2050	(MVA/a)					
Madrid	Zaragoza	329	0,572	388.222(82)	30%	344.689(06)	4,674	0,143	48.486(87)	-0,4	0,90	339	3.277	15,93%	80,17%	203	49				
Zaragoza	Barcelona	294	0,572	368.198(74)	30%	218.658(34)	4,833	0,143	47.627(699)	-0,5	0,90	333	3.290	17,60%	82,40%	212	37				
Madrid	Barcelona	619	0,572	354.132(88)	30%	460.372(46)	3,355	0,215	148.461(11)	1,0	0,90	692	2.851	26,80%	73,20%	545	145				
Madrid	Francia	634	0,572	362.742(5)	30%	471.528(53)	3,287	0,215	139.870(51)	12,3	0,90	652	3.018	31,33%	68,67%	2479	574				
España	Alemania	1305	0,572	746.596(37)	30%	970.572(9)	0,236	0,143	188.937(13)	15,3	0,90	1321	1.269	73,75%	26,25%	548	404				
España	Italia	1.346	0,572	770.052(62)	30%	1001.068(6)	0,050	0,143	190.209(7)	26,4	0,90	1358	1.120	84,02%	15,98%	288	127				
España	Holanda	1.502	0,572	850.300(64)	30%	1117.091(2)	0,060	0,143	221.115(91)	26,8	0,90	1366	1.137	84,99%	15,01%	198	127				
España	Bélgica	1.345	0,572	769.480(57)	30%	1000.124(7)	0,054	0,143	193.800(61)	26,4	0,90	1355	1.218	84,08%	15,92%	143	118				

MEMORIO IAF: E34.505

0,572													0,215			0,90			% casación		
R_DIST	R_PFOI	R_PFOI	R_PFOI	%ccrec	R_PFOI	U(carretera)	V_PPRX	AF_PPRX	GT_AF_R	AF_SECU	AF_DEST	U (AF)	Probabilidad	Probabilidad	Demanda	Volumen					
Km	(D518) (C/m)	(D518) (C/m)	(D518) (C/m)		D055		(K/h)	(K/h)					Ferrocarril	carretera	Año 2050	(MVA/a)					
Madrid	Zaragoza	329	0,572	388.222(82)	30%	344.689(06)	4,674	0,215	72.728(35)	-0,4	0,90	339	3.208	18,70%	81,30%	203	38				
Zaragoza	Barcelona	294	0,572	368.198(74)	30%	218.658(34)	4,833	0,215	71.445(499)	-0,5	0,90	333	3.222	16,64%	83,36%	212	35				
Madrid	Barcelona	619	0,572	354.132(88)	30%	460.372(46)	3,355	0,215	148.461(11)	1,0	0,90	692	2.809	24,22%	75,78%	545	131				
Madrid	Francia	634	0,572	362.742(5)	30%	471.528(53)	3,287	0,215	139.870(51)	12,3	0,90	652	2.885	40,07%	59,93%	2479	993				
España	Alemania	1305	0,572	746.596(37)	30%	970.572(9)	0,236	0,215	283.406(268)	15,3	0,90	1321	1.099	88,20%	11,80%	548	373				
España	Italia	1.346	0,572	770.052(62)	30%	1001.068(6)	0,050	0,215	271.244(7)	26,4	0,90	1358	1.432	79,94%	20,06%	288	230				
España	Holanda	1.502	0,572	850.300(64)	30%	1117.091(2)	0,060	0,215	333.477(58)	26,8	0,90	1366	1.081	81,20%	17,80%	198	143				
España	Bélgica	1.345	0,572	769.480(57)	30%	1000.124(7)	0,054	0,215	250.700(61)	26,4	0,90	1355	1.441	80,01%	19,99%	143	113				

MEMORIO IAF: 751.920

0,572													0,286			0,90			% casación		
R_DIST	R_PFOI	R_PFOI	R_PFOI	%ccrec	R_PFOI	U(carretera)	V_PPRX	AF_PPRX	GT_AF_R	AF_SECU	AF_DEST	U (AF)	Probabilidad	Probabilidad	Demanda	Volumen					
Km	(D518) (C/m)	(D518) (C/m)	(D518) (C/m)		D055		(K/h)	(K/h)					Ferrocarril	carretera	Año 2050	(MVA/a)					
Madrid	Zaragoza	329	0,572	388.222(82)	30%	344.689(06)	4,674	0,286	95.971(12)	-0,4	0,90	339	3.138	17,72%	82,28%	203	38				
Zaragoza	Barcelona	294	0,572	368.198(74)	30%	218.658(34)	4,833	0,286	95.265(568)	-0,5	0,90	333	3.153	19,71%	80,29%	212	33				
Madrid	Barcelona	619	0,572	354.132(88)	30%	460.372(46)	3,355	0,286	177.948(518)	1,0	0,90	692	2.968	24,62%	75,38%	545	117				
Madrid	Francia	634	0,572	362.742(5)	30%	471.528(53)	3,287	0,286	169.242(58)	12,3	0,90	652	3.051	38,04%	61,96%	2479	860				
España	Alemania	1305	0,572	746.596(37)	30%	970.572(9)	0,236	0,286	377.870(25)	15,3	0,90	1321	1.021	82,08%	17,92%	548	340				
España	Italia	1.346	0,572	770.052(62)	30%	1001.068(6)	0,050	0,286	388.488(18)	26,4	0,90	1358	1.154	75,11%	24,89%	288	216				
España	Holanda	1.502	0,572	850.300(64)	30%	1117.091(2)	0,060	0,286	442.276(1)	26,8	0,90	1366	1.065	81,20%	17,79%	198	141				
España	Bélgica	1.345	0,572	769.480(57)	30%	1000.124(7)	0,054	0,286	387.600(91)	26,4	0,90	1355	1.164	79,21%	24,79%	143	106				

MEMORIO IAF: 691.515

0,572													0,358			0,90			% casación		
R_DIST	R_PFOI	R_PFOI	R_PFOI	%ccrec	R_PFOI	U(carretera)	V_PPRX	AF_PPRX	GT_AF_R	AF_SECU	AF_DEST	U (AF)	Probabilidad	Probabilidad	Demanda	Volumen					
Km	(D518) (C/m)	(D518) (C/m)	(D518) (C/m)		D055		(K/h)	(K/h)					Ferrocarril	carretera	Año 2050	(MVA/a)					
Madrid	Zaragoza	329	0,572	388.222(82)	30%	344.689(06)	4,674	0,358	121.214(42)	-0,4	0,90	339	3.059	18,12%	81,88%	203	34				
Zaragoza	Barcelona	294	0,572	368.198(74)	30%	218.658(34)	4,833	0,358	110.050(1)	-0,5	0,90	333	3.085	14,83%	85,17%	212	31				
Madrid	Barcelona	619	0,572	354.132(88)	30%	460.372(46)	3,355	0,358	247.435(58)	1,0	0,90	692	3.028	21,82%	78,18%	545	105				
Madrid	Francia	634	0,572	362.742(5)	30%	471.528(53)	3,287	0,358	219.480(18)	12,3	0,90	652	3.018	46,13%	53,87%	2479	860				
España	Alemania	1305	0,572	746.596(37)	30%	970.572(9)	0,236	0,358	472.343(7)	15,3	0,90	1321	1.021	84,94%	14,46%	548	304				
España	Italia	1.346	0,572	770.052(62)	30%	1001.068(6)	0,050	0,358	485.578(97)	26,4	0,90	1358	1.085	69,57%	30,43%	288	200				
España	Holanda	1.502	0,572	850.300(64)	30%	1117.091(2)	0,060	0,358	642.276(1)	26,8	0,90	1366	1.065	81,20%	17,79%	198	141				
España	Bélgica	1.345	0,572	769.480(57)	30%	1000.124(7)	0,054	0,358	581.401(2)	26,4	0,90	1355	1.087	68,69%	30,31%	143	98				

MEMORIO IAF: 631.905

0,572													0,429			0,90			% casación		
R_DIST	R_PFOI	R_PFOI	R_PFOI	%ccrec	R_PFOI	U(carretera)	V_PPRX	AF_PPRX	GT_AF_R	AF_SECU	AF_DEST	U (AF)	Probabilidad	Probabilidad	Demanda	Volumen					
Km	(D518) (C/m)	(D518) (C/m)	(D518) (C/m)		D055		(K/h)	(K/h)					Ferrocarril	carretera	Año 2050	(MVA/a)					
Madrid	Zaragoza	329	0,572	388.222(82)	30%	344.689(06)	4,674	0,429	145.457(7)	-0,4	0,90	339	3.000	14,88%	85,12%	203	30				
Zaragoza	Barcelona	294	0,572	368.198(74)	30%	218.658(34)	4,833	0,429	137.883(1)	-0,5	0,90	333	3.057	13,09%	86,91%	212	27				
Madrid	Barcelona	619	0,572	354.132(88)	30%	460.372(46)	3,355	0,429	290.922(37)	1,0	0,90	692	3.028	17,22%	82,78%	545	103				
Madrid	Francia	634	0,572	362.742(5)	30%	471.528(53)	3,287	0,429	270.799(2)	12,3	0,90	652	3.018	46,13%	53,87%	2479	860				
España	Alemania	1305	0,572	746.596(37)	30%	970.572(9)	0,236	0,429	566.812(17)	15,3	0,90	1321	1.021	84,94%	14,46%	548	304				
España	Italia	1.346	0,572	770.052(62)	30%	1001.068(6)	0,050	0,429	582.888(37)	26,4	0,90	1358	1.085	69,57%	30,43%	288	200				
España	Holanda	1.502	0,572	850.300(64)	30%	1117.091(2)	0,060	0,429	842.276(1)	26,8	0,90	1366	1.065	81,20%	17,79%	198	141				
España	Bélgica	1.345	0,572	769.480(57)	30%	1000.124(7)	0,054	0,429	581.401(2)	26,4	0,90	1355	1.087	68,69%	30,31%	143	98				

MEMORIO IAF: 531.881

0,572													0,501			0,90			% casación		
R_DIST	R_PFOI	R_PFOI	R_PFOI	%ccrec	R_PFOI	U(carretera)	V_PPRX	AF_PPRX	GT_AF_R	AF_SECU	AF_DEST	U (AF)	Probabilidad	Probabilidad	Demanda	Volumen					
Km	(D518) (C/m)	(D518) (C/m)	(D518) (C/m)		D055		(K/h)	(K/h)					Ferrocarril	carretera	Año 2050	(MVA/a)					
Madrid	Zaragoza	329	0,572	388.222(82)	30%	344.689(06)	4,674	0,501	160.700(8)	-0,4	0,90	339	2.930	14,88%	85,12%	203	30				
Zaragoza	Barcelona	294	0,572	368.198(74)	30%	218.658(34)	4,833	0,501	156.896(9)	-0,5	0,90	333	2.959	13,09%	86,91%	212	26				
Madrid	Barcelona	619	0,572	354.132(88)	30%	460.372(46)	3,355	0,501	346.902(77)	1,0	0,90	692	3.061	16,43%	83,57%	545	103				
Madrid	Francia	634	0,572	362.742(5)	30%	471.528(53)	3,287	0,501	326.380(18)	12,3	0,90	652	3.018	46,13%	53,87%	2479	860				
España	Alemania	1305	0,572	746.596(37)	30%	970.572(9)	0,236	0,501	661.281(9)	15,3	0,90	1321	1.021	84,94%	14,46%	548	304				
España	Italia	1.346	0,572	770.052(62)	30%	1001.068(6)	0,050	0,501	679.801(7)	26,4	0,90	1358	1.085	69,57%	30,43%	288	163				
España	Holanda	1.502	0,572	850.300(64)	30%	1117.091(2)	0,060	0,501	973.267(6)	26,8	0,90	1366	1.065	81,20%	17,79%	198	141				
España	Bélgica	1.345	0,572	769.480(57)	30%	1000.124(7)	0,054	0,501	678.304(2)	26,4	0,90	1355	1.085	69,57%	30,43%	143	80				



# Demanda captada resultante

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
0.1	68.307	91.546	123.536	150.021	184.842	228.901	283.360	353.778	448.217	569.546	720.656	905.564	1130.315	1403.975	1732.606	2122.269	2578.025	3105.842	3711.681	4402.554	5184.432	6063.284	7045.191	8136.215	9341.426	10666.891	12137.671	13758.831	15535.431	17472.621	19575.451	21848.961	
0.2	54.264	73.029	96.521	125.799	161.527	201.756	248.535	304.824	372.583	454.782	554.481	674.740	818.619	988.178	1185.587	1413.906	1675.205	1972.554	2309.023	2687.682	3111.501	3583.550	4107.899	4688.608	5329.747	6035.386	6800.595	7630.434	8529.963	9503.252	10575.351	11761.221	13067.001
0.3	42.366	56.237	73.850	96.380	124.641	158.884	200.084	250.283	310.432	381.581	464.780	561.079	672.528	791.177	919.076	1057.275	1215.824	1395.773	1598.182	1825.111	2078.620	2360.769	2674.608	3013.187	3379.566	3776.695	4207.524	4676.003	5176.182	5712.101	6288.810	6899.359	
0.4	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.5	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.6	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.7	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.8	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.9	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
1	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
<b>BARCELONA</b>																																	
0.1	68.307	91.546	123.536	150.021	184.842	228.901	283.360	353.778	448.217	569.546	720.656	905.564	1130.315	1403.975	1732.606	2122.269	2578.025	3105.842	3711.681	4402.554	5184.432	6063.284	7045.191	8136.215	9341.426	10666.891	12137.671	13758.831	15535.431	17472.621	19575.451	21848.961	
0.2	54.264	73.029	96.521	125.799	161.527	201.756	248.535	304.824	372.583	454.782	554.481	674.740	818.619	988.178	1185.587	1413.906	1675.205	1972.554	2309.023	2687.682	3111.501	3583.550	4107.899	4688.608	5329.747	6035.386	6800.595	7630.434	8529.963	9503.252	10575.351	11761.221	13067.001
0.3	42.366	56.237	73.850	96.380	124.641	158.884	200.084	250.283	310.432	381.581	464.780	561.079	672.528	791.177	919.076	1057.275	1215.824	1395.773	1598.182	1825.111	2078.620	2360.769	2674.608	3013.187	3379.566	3776.695	4207.524	4676.003	5176.182	5712.101	6288.810	6899.359	
0.4	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.5	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.6	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.7	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.8	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.9	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
1	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
<b>BARCELONA</b>																																	
0.1	68.307	91.546	123.536	150.021	184.842	228.901	283.360	353.778	448.217	569.546	720.656	905.564	1130.315	1403.975	1732.606	2122.269	2578.025	3105.842	3711.681	4402.554	5184.432	6063.284	7045.191	8136.215	9341.426	10666.891	12137.671	13758.831	15535.431	17472.621	19575.451	21848.961	
0.2	54.264	73.029	96.521	125.799	161.527	201.756	248.535	304.824	372.583	454.782	554.481	674.740	818.619	988.178	1185.587	1413.906	1675.205	1972.554	2309.023	2687.682	3111.501	3583.550	4107.899	4688.608	5329.747	6035.386	6800.595	7630.434	8529.963	9503.252	10575.351	11761.221	13067.001
0.3	42.366	56.237	73.850	96.380	124.641	158.884	200.084	250.283	310.432	381.581	464.780	561.079	672.528	791.177	919.076	1057.275	1215.824	1395.773	1598.182	1825.111	2078.620	2360.769	2674.608	3013.187	3379.566	3776.695	4207.524	4676.003	5176.182	5712.101	6288.810	6899.359	
0.4	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.5	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.6	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624	188.754	234.084	287.673	350.572	423.842	507.531	601.600	706.109	822.208	950.947	1092.376	1256.555	1444.444	1657.103	1895.592	2170.871	2484.890	2839.599	3236.948	3670.007	4141.746	4655.135	5202.124	5785.773	6408.642	7073.701	7783.910
0.7	37.964	51.584	69.564	91.944	118.645	150.624																											

# Trayectos y kilómetros recorridos totales



# Trenes y vagones a disponer



# Maquinistas necesarios



# Cálculos inversiones y gastos





# Estudios económico-financieros

---

*Estudio para el desarrollo de la autopista ferroviaria Madrid-Zaragoza-Barcelona.  
Ampliación del túnel "La Romera" para el paso de material rodante compatible.*

