



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Caracterización de la línea férrea entre Madrid y Barcelona para la explotación de transporte de mercancías: análisis de capacidad de la línea, prestaciones y operatividad.

Autor/es

**Pedro Mateo Muela**

Director/es

**Emilio Larrodé Pellicer**

Co-Director/es

**María Victoria Muerza Marín**





Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación)

D./Dña. Pedro Mateo Muela

con nº de DNI 73014986-Z en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)  
Tecnologías Industriales, (Título del Trabajo)

CARACTERIZACIÓN DE LA LÍNEA FERREA ENTRE MADRID Y BARCELONA PARA  
LA EXPLOTACIÓN DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS: ANÁLISIS DE CAPACIDAD  
DE LA LÍNEA, PRESTACIONES Y OPERATIVIDAD.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 29 de Agosto de 2016

Fdo: Pedro Mateo Muela

# Caracterización de la línea férrea entre Madrid y Barcelona para la explotación de transporte de mercancías: análisis de la capacidad de la línea, prestaciones y operatividad.

El presente documento desarrolla el proyecto de análisis y caracterización de la línea férrea de ancho ibérico (Anexo 1) existente entre las ciudades de Madrid y Barcelona, así como el análisis de los centros logísticos situados en su recorrido.

Para desarrollar este estudio, se realizan diversas tareas relacionadas con el estudio en profundidad de dicha línea, desde la elección de material rodante en función de las características físicas de la vía, hasta el análisis de cada nodo ferroviario por el que discurre la línea férrea.

La justificación de este estudio se basa en la importancia económica y logística que contiene esta línea, ya que une mediante uno de los medios de transporte más eficaces existentes, las dos ciudades con mayor importancia en el país. Además, atraviesa ciudades como Tarragona, Zaragoza y el corredor del Henares, zonas especialmente activas en la actividad logística de toda clase de mercancías debido a sus situaciones geográficas privilegiadas.

Para comenzar se realizará un análisis exhaustivo del recorrido de la línea férrea, con el que estudiaremos las limitaciones técnicas existentes así como las posibles mejoras a plantear para el incremento de la operatividad de la línea. En segundo lugar con el análisis realizado se plantearán diferentes alternativas para la elección del material rodante que compondrá nuestra unidad de transporte. En ella se estudiarán diferentes tipos de plataforma ofrecidas por Renfe para el transporte de contenedores, ya que centraremos nuestro estudio en el transporte mediante esta unidad intermodal.

Por último se estudiarán los costes asociados al transporte por ferrocarril de esta mercancía, así como la malla ferroviaria para el análisis de la operatividad y capacidad de la línea.



# Índice

<b>1. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>2. ALCANCE DEL PROYECTO .....</b>	<b>10</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>4. METODOLOGÍA .....</b>	<b>12</b>
<b>5. ANÁLISIS FUNDAMENTAL DE LA LÍNEA.....</b>	<b>13</b>
<b>6. NODOS LOGÍSTICOS ASOCIADOS A LA LÍNEA .....</b>	<b>15</b>
i. <b>Madrid .....</b>	<b>15</b>
a. Madrid-Abroñigal.....	17
b. Puerto Seco de Madrid-Coslada.....	19
c. Puerto Seco de Azuqueca de Henares .....	22
ii. <b>Zaragoza .....</b>	<b>23</b>
a. Zaragoza-Plaza .....	24
b. Terminal Marítima de Zaragoza .....	26
iii. <b>Barcelona.....</b>	<b>28</b>
a. Barcelona .....	29
<b>7. LONGITUD MÁXIMA DE LA COMPOSICIÓN.....</b>	<b>33</b>
i. <b>Normativa vigente .....</b>	<b>33</b>
ii. <b>Limitaciones técnicas de la vía.....</b>	<b>33</b>
iii. <b>Características instalaciones logísticas .....</b>	<b>34</b>
iv. <b>Vías de apartado .....</b>	<b>35</b>
<b>8. LOCOMOTORA Y PLATAFORMA .....</b>	<b>36</b>
i. <b>Tracción .....</b>	<b>36</b>
ii. <b>Plataforma .....</b>	<b>38</b>
iii. <b>Cálculos .....</b>	<b>39</b>
<b>9. CAPACIDAD DE LA LÍNEA.....</b>	<b>45</b>
<b>10. COSTES INCURRIDOS.....</b>	<b>46</b>
i. <b>Energía.....</b>	<b>46</b>
ii. <b>Mantenimiento.....</b>	<b>47</b>
iii. <b>Cánones .....</b>	<b>47</b>
<b>11. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>12. FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>51</b>
i. <b>Bibliografía .....</b>	<b>51</b>
ii. <b>Otras fuentes de información.....</b>	<b>51</b>
<b>Anexo 1: Definiciones.....</b>	<b>56</b>
<b>Anexo 2: Evolución en el tráfico de TEU's .....</b>	<b>59</b>
<b>Anexo 3: Mapas Declaración sobre la Red 2016.....</b>	<b>60</b>
<b>Anexo 4: Esquema ferroviario recorrido general de la línea .....</b>	<b>61</b>
<b>Anexo 5: Esquema nodo ferroviario de Madrid.....</b>	<b>62</b>

<b>Anexo 6: Esquema nodo ferroviario de Zaragoza .....</b>	<b>63</b>
<b>Anexo 7: Esquema nodo ferroviario de Barcelona .....</b>	<b>64</b>
<b>Anexo 8. Longitud vías apartado .....</b>	<b>65</b>
<b>Anexo 9: Reglamento de Circulación Ferroviaria.....</b>	<b>66</b>
<b>Anexo 10: Anexo J Declaración sobre la Red 2016.....</b>	<b>67</b>
<b>Anexo 11: Tracción eléctrica disponible en Renfe .....</b>	<b>68</b>
<b>Anexo 12: Hoja características Serie 253.....</b>	<b>69</b>
<b>Anexo 13: Plataformas disponibles Renfe .....</b>	<b>70</b>
<b>Anexo 14: Normalización TEU'S.....</b>	<b>71</b>
<b>Anexo 15: Cálculos adherencia y potencia máxima .....</b>	<b>72</b>
<b>Anexo 16: Velocidad máxima para cada modelo de plataforma.....</b>	<b>73</b>
<b>Anexo 17: Cálculos velocidad máxima para cada modelo de plataforma y pendiente</b>	<b>74</b>
<b>Anexo 18: Malla ferroviaria .....</b>	<b>75</b>
<b>Anexo 19: Estructura costes ferroviarios.....</b>	<b>76</b>

# Índice de Imágenes

- Imagen 1. Estación clasificadora de Vicálvaro.
- Imagen 2. Tren butanero saliendo de Torrejón de Ardoz con planta butanera al fondo.
- Imagen 3. Vista aérea Madrid-Abroñigal
- Imagen 4. Playa de descarga con grúas pórtico en Madrid-Abroñigal
- Imagen 5. Vista aérea Puerto Seco Madrid-Coslada
- Imagen 6. Vista aérea Puerto Seco Azuqueca de Henares
- Imagen 7. Grúa pórtico situada en Zaragoza-Plaza
- Imagen 8: Playa descarga Zaragoza-Plaza
- Imagen 9. Entrada Terminal Marítima de Zaragoza.
- Imagen 10. Composición con tracción de Continental Rail en TMZ.
- Imagen 11. Puerto Tarragona
- Imagen 12. Estación Barcelona-Morrot
- Imagen 13. Terminal BEST vista aérea
- Imagen 14. Terminal BEST
- Imagen 15. Serie 253
- Imagen 16. Serie 253
- Imagen 17: Ejemplo contenedor 20 pies.
- Imagen 18: Vía con tercer carril. 1445 mm y 1668 cm (UIC y ancho ibérico)
- Imagen 19: Baliza sistema ASFA

## Índice de Tablas

Tabla 1.	Resumen características fundamentales de la línea.
Tabla 2.	Resumen características fundamentales nodo ferroviario de Madrid.
Tabla 3.	Resumen características fundamentales nodo ferroviario de Zaragoza.
Tabla 4.	Resumen características fundamentales nodo ferroviario de Barcelona.
Tabla 5.	Longitudes máximas estaciones logísticas.
Tabla 6.	Relación Peso Potencia tracción Renfe
Tabla 7.	Características técnicas Serie 253
Tabla 8.	Características fundamentales plataformas
Tabla 9.	Capacidad plataformas
Tabla 10.	Comprobación potencia necesaria.
Tabla 11.	Tabla cánones acceso para líneas tipo A
Tabla 12.	Tabla cánones reserva de capacidad trenes mercancías
Tabla 13.	Tabla cánones circulación mercancías

## Índice de Figuras

Figura 1.	Vista aérea Torrejón de Ardoz.
Figura 2.	Evolución trenes tratados anualmente en Madrid-Abroñigal
Figura 3.	Evolución TEU's movidos en Puerto Seco de Madrid según destino/origen.
Figura 4.	Esquema vías entronque Vicálvaro Clasificación-Coslada
Figura 5.	Zaragoza-Plaza
Figura 6.	Número de trenes tratados en Zaragoza Plaza 2010-2014
Figura 7.	Comprobación potencia necesaria para $i=9$
Figura 8.	Velocidad máxima en función de la pendiente para modelo de plataforma MMC
Figura 9.	Diferentes anchos de vía existentes
Figura 10.	Evolución mundial tráfico de TEU's. Elaboración propia.
Figura 11.	Evolución tráfico en España de TEU's. Elaboración propia

## 1. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN

El objetivo principal del proyecto es analizar la competitividad de la línea ferroviaria de mercancías entre las ciudades de Madrid y Barcelona. Para ello se analizarán las características técnicas de la línea, así como de las instalaciones logísticas situadas a lo largo de la misma.

Asimismo, complementando el análisis técnico, se realizará un análisis de explotación de la línea ferroviaria y para ello se obtendrá la malla ferroviaria que nos permitirá obtener la capacidad de la línea.

Para finalizar, una vez conocidas las capacidades técnicas y operativas de la línea podremos abordar el cálculo y análisis de los costes de explotación de esa línea para el caso concreto del transporte intermodal mediante el uso de contenedores.

La justificación del tema escogido para este proyecto, radica en la importancia logística y económica de la línea estudiada, ya que une las dos ciudades con más actividad industrial del país, además de discurrir por una de las ciudades mejor situadas logísticamente dentro de territorio nacional como es Zaragoza. Esta importancia de Zaragoza, viene dada por su distancia a cuatro de las ciudades más importantes del país, como son Madrid y Barcelona (nombradas anteriormente) y Bilbao y Valencia.

## 2. ALCANCE DEL PROYECTO

Como se ha citado anteriormente, este proyecto se centrará en el estudio en profundidad de la línea ferroviaria de ancho ibérico que conecta las ciudades de Madrid y Barcelona, analizando los tanto los nodos logísticos (Anexo 1) de ambas ciudades, como los situados en su recorrido.

Además, se estudiarán todas las instalaciones situadas a lo largo de la línea que se dediquen al tratamiento de contenedores, centrándonos exclusivamente en este modo de transporte.

El proyecto se centra en el estudio de esta forma de movimiento de mercancías, debido a la gran variedad de clases mercancías diferentes que pueden ser trasladadas en estos modos de carga, con la interoperabilidad y las enormes posibilidades que ello habilita.

Para el estudio de la línea, diseñaremos un convoy tipo desarrollado posteriormente mediante cálculos explícitos. Además nos basaremos en los esquemas realizados a mano Anexos a esta memoria, junto con imágenes satélite, mapas proporcionados por ADIF (Anexo 1).

Por otro lado, los costes asociados serán obtenidos gracias a los datos publicados por el OFE (Anexo 1) en su informe del año 2014.

### 3. INTRODUCCIÓN

Debido a la globalización en la que vivimos instaurados actualmente, el transporte internacional de mercancías está muy extendido para largos trayectos. Para poder desplazar de forma cómoda y segura diferentes tipos de mercancías en diferentes medios de transportes, se diseñó un método de “embalaje” normalizado al que poder dar tratamiento en cualquier parte del mundo, los contenedores.

Este medio para el transporte, definido por la RAE como un embalaje metálico, grande y recuperable, de tipos y dimensiones normalizados internacionalmente y con dispositivos para facilitar su manejo de diferentes tipos de mercancía, se diseñó para poder ser usado en tres medios de transporte diferentes: marítimo, terrestre y multimodal.

El uso del contenedor se ha impuesto en las cadenas intermodales de transporte ya que facilita su manipulación, la mecanización de los procesos a la vez que minimiza las pérdidas y los daños en la carga. Esta creciente importancia del tráfico de contenedores, tanto en el tráfico marítimo como en el terrestre, conduce a la especialización y desarrollo de terminales específicamente concebidas para tratar este tipo de mercancías.

Para dar agilidad y rapidez a este modo de transporte de mercancías, se han diseñado y construido estaciones logísticas dedicadas exclusivamente al tratamiento de TEU's (Anexo 1) tanto a nivel ferroviario como a nivel marítimo, de manera que el cambio de la mercancía entre los diferentes medios de transporte puede ser inmediato.

Debido al gran movimiento mundial de mercancía en este medio (cerca de seis mil millones de TEU's según el Banco Mundial (Anexo 2) [1], se estudiará en profundidad, debido a la importancia logística y económica que supone, la línea férrea de ancho ibérico más importante en España.

## 4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se ha procedido a analizar todas aquellas variables que influyen en las características técnicas de las composiciones que circulan por esta línea férrea.

Estas variables son:

- Las características fundamentales de la línea
- Las características técnicas de los nodos logísticos ferroviarios asociados a la línea
- Las limitaciones en la longitud y velocidad

Además, se desarrollarán los cálculos necesarios para averiguar cuál es la composición más favorable para realizar el trayecto entre Madrid y Barcelona.

Con los resultados, obtenidos mediante una tabla Excel desarrollada únicamente para este proyecto, y tras la comparación entre los resultados obtenidos para diferentes modelos de plataformas, escogeremos la más adecuada junto con la tracción más recomendable.

Tras la elección de los elementos que componen nuestra composición, se realizará un estudio económico de los costes asociados mediante el cálculo individualizado de distintos tipos de gasto.

Por último, y tras el desarrollo individual de la malla ferroviaria, se procederá a su análisis para obtener conclusiones y posibles mejoras.



## 5. ANÁLISIS FUNDAMENTAL DE LA LÍNEA

La línea férrea que es objeto de este estudio, la comprendida entre Madrid y Barcelona, tiene una longitud aproximada de 700 kilómetros. A través de ellos se cubren tres de los nodos logísticos más importantes en España, como son Madrid, Barcelona y Zaragoza, los cuales serán estudiados en profundidad en el apartado número cinco de este proyecto.

Como características fundamentales de la línea podemos comentar que, como no puede ser de otra manera, está electrificada a tres kilovoltios de tensión en todo su recorrido. Esto permite no tener que cambiar la tracción en ningún punto del recorrido. (Anexo 3)

En segundo lugar, hay que especificar que no toda la línea dispone de doble vía que permita el doble sentido de circulación. Únicamente el tramo entre Madrid y Zaragoza (a excepción del comprendido entre Calatayud-Ricla) y Reus-Barcelona disponen de la doble vía. Es por este motivo por el que como se puede ver en el esquema de la línea (Anexo 4) esta dispone de dos recorridos diferentes en el tramo comprendido entre Zaragoza y Barcelona.

El primero de ellos, realiza el trayecto recorriendo la comarca del Bajo Aragón, mientras que la otra alternativa, discurre por la línea férrea que une Zaragoza-Huesca-Lleida. Ambas alternativas, realizan su entronque en la estación de Sant Vicenç de Calders. No existe regulación alguna sobre que recorrido toma cada tren mercante, cada caso particular depende la capacidad de la línea en cada momento, es decir, del volumen de tráfico existente.

Otro aspecto muy importante es la velocidad máxima permitida y la longitud máxima admitida para la composición. En relación a la velocidad, la línea permite velocidades de hasta 160 kilómetros por hora en alguno de sus tramos, mientras que en los tramos más lentos la velocidad está limitada a 110 kilómetros por hora. Esta limitación no afecta a nuestro convoy, ya que según el Reglamento de Circulación Ferroviaria en la tabla adjunta en la página 33, permite una velocidad máxima para trenes de mercancías con régimen de frenado G (Anexo 1) de 100 kilómetros por hora.

En cuanto a la longitud máxima permitida para cada composición, el valor más restrictivo es 550 metros para composiciones de carácter especial,

alcanzándose longitudes máximas permitidas de 575 metros en varios tramos de la línea.

Anteriormente en este trabajo, se ha citado una característica fundamental de la línea como es la distancia entre los carriles de la vía o ancho de vía. Como la mayoría de kilómetros de línea férrea en España, están formados por patines separados entre sí 1668 mm, es decir, ancho ibérico. Como una característica importante de la línea, hay que explicar que a la hora de la entrada de la citada línea en el nodo logístico de Barcelona, los convoyes circulan durante varios kilómetros por vía denominada tercer carril. (Anexo 1)

Por último pero no por ello menos importante, es importante nombrar las medidas de seguridad existentes a lo largo de la línea. Toda ella tiene a lo largo de su recorrido dos sistemas de seguridad distintos pero complementarios, como son el Tren Tierra (Anexo 1) y sistema ASFA (Anexo 1)

<i>Electrificación</i>	Si. 3 kV en todo el recorrido
<i>Ancho vía</i>	1668 mm + tercer carril en Barcelona
<i>Longitud línea</i>	700 km
<i>Rampa máxima característica sentido Barcelona</i>	19 milésimas
<i>Rampa máxima característica sentido Madrid</i>	18 milésimas
<i>Sistemas de Seguridad</i>	Tren Tierra + ASFA
<i>Velocidad máxima permitida</i>	160 km/h
<i>Longitud máxima permitida</i>	550 metros

*Tabla 1. Resumen características fundamentales de la línea*

## 6. NODOS LOGÍSTICOS ASOCIADOS A LA LÍNEA

### i. Madrid

El nodo ferroviario asociado a Madrid presenta cinco centros importantes para la composición de trenes y el tratamiento de mercancías. De ellos únicamente tres se dedican al movimiento de TEU's. Estos tres centros son Madrid-Abroñigal, Puerto Seco de Coslada y Puerto Seco de Azuqueca de Henares (provincia de Guadalajara) (Anexo 5).

Los otros dos centros nombrados, y no dedicados a TEU's, son la estación de clasificación de Vicálvaro y las estaciones de mercancías de Torrejón de Ardoz. El centro de Vicálvaro como su propio nombre indica únicamente se dedica a la composición de trenes, aunque actualmente existe un proyecto para convertirlo en una estación con movimiento de contenedores. Por el contrario, en Torrejón de Ardoz se mueven diferentes tipos de mercancías como son vehículos, gas butano y combustible procedente y con destino la planta de CLH (Compañía Logística de Hidrocarburos).



*Imagen 1. Estación clasificadora de Vicálvaro. [2]*





*Imagen 2. Tren butanero saliendo de Torrejón de Ardoz con planta butanera al fondo [3].*



**Figura 1. Vista aérea Torrejón de Ardoz.**



#### a. Madrid-Abroñigal

Centrándonos en los centros que son de interés para nuestro estudio, Madrid Abroñigal es el centro más importante de los tres situados en Madrid. Por ejemplo en el año 2014 fueron tratados 5.107 trenes a lo largo del año. (Figura 6). Es una estación que dispone actualmente de quince vías para la recepción de trenes de hasta 700 metros de longitud. De ellas, doce vías son dedicadas para el tratamiento de trenes (de contenedores de hasta 530 metros de longitud) con cuatro playas de carga y descarga.



*Imagen 3. Vista aérea Madrid-Abroñigal [4]*



Imagen 4. Playa de descarga con grúas pórtico en Madrid-Abroñigal [5]



Figura 2. Evolución trenes tratados anualmente en Madrid-Abroñigal [6]

### b. Puerto Seco de Madrid-Coslada

A continuación a Madrid-Abroñigal en la línea que une Madrid y Barcelona, y junto al centro de clasificación de Vicálvaro, se encuentra el Puerto Seco (Anexo 1) de Madrid-Coslada. Este centro dispone de 4 vías para carga y descarga de trenes de contenedores, con longitudes que van desde los 433 hasta los 553 metros, gracias a grúa-pórtico situada en este haz. Desde su creación en el año 2010, únicamente ha existido movimiento con cuatro puertos españoles como son Algeciras, Barcelona, Valencia y Bilbao. Con el puerto de Barcelona, el estudiado en este proyecto, no existe apenas movimiento desde el año 2010. Como puede apreciarse en la figura 5, prácticamente todo el movimiento que tiene este Puerto Seco, tiene como origen/destino el puerto de Valencia

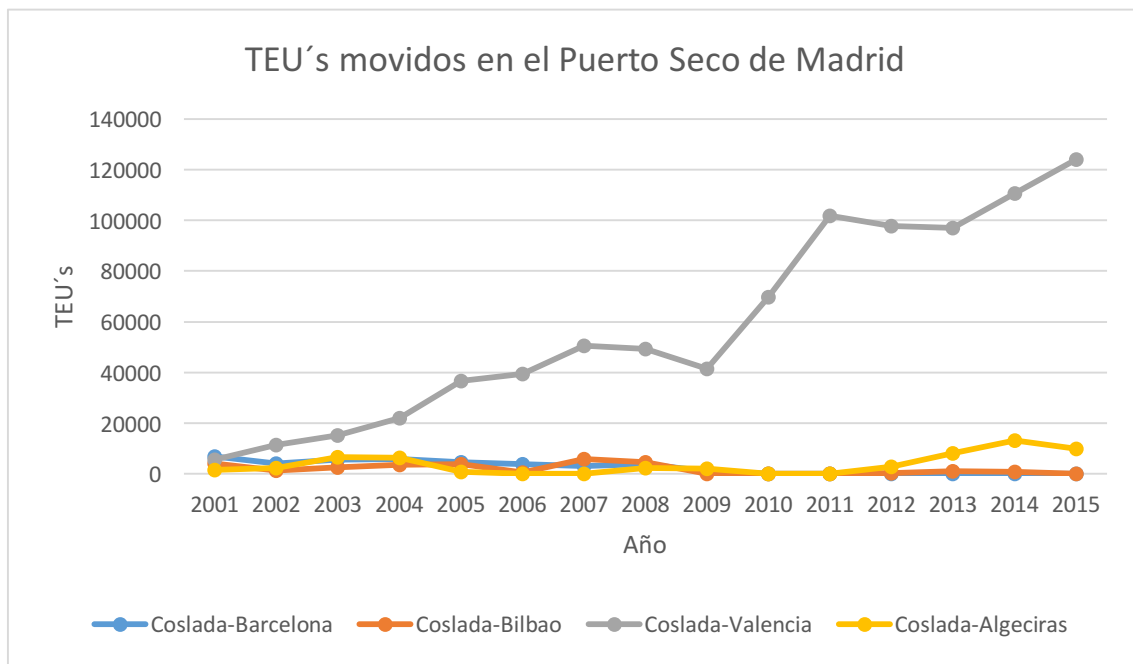


Figura 3. Evolución TEU's movidos en Puerto Seco de Madrid según destino/origen [7]





*Imagen 5: Vista aérea Puerto Seco Madrid-Coslada [8]*





Figura 4. Esquema vías entronque Vicálvaro Clasificación-Coslada

### c. Puerto Seco de Azuqueca de Henares

Para terminar el nodo ferroviario situado en Madrid, debemos nombrar el puerto seco de Azuqueca de Henares. Este centro es una empresa de gestión privada participada societariamente por las autoridades portuarias de Barcelona, Bilbao y Santander. Como instalación técnica dispone de dos vías de estacionamiento y dos vías de carga y descarga, ambas de 500 metros de longitud máxima. Dispone de servicios regulares con puertos marítimos como son Barcelona, Bilbao, Valencia y Algeciras, y con terminales de interior como puede ser TMZ (Terminal Marítima de Zaragoza).



*Imagen 6: Vista aérea Puerto Seco Azuqueca de Henares [9]*

Mediante el análisis de este nodo ferroviario, obtenemos como resultado los siguientes datos técnicos.

	Ancho vía	Longitud máxima (m)	Nº vías descarga
<i>Madrid-Abroñigal</i>	Ibérico	530	12
<i>Puerto Seco Madrid-Coslada</i>	Ibérico	553	4
<i>Puerto Seco Azuqueca de Henares</i>	Ibérico	500	2

*Tabla 2. Resumen características fundamentales nodo ferroviario de Madrid*

## ii. Zaragoza

El nodo ferroviario de Zaragoza se encuentra situado a mitad de recorrido entre Madrid y Barcelona. En él se juntan cuatro líneas estratégicas para el transporte de mercancías o de viajeros. De la línea principal, considerándose como tal la línea Madrid-Barcelona, se separa la línea dirigida hacia el norte de España, la dirigida hacia Francia pasando por el pirineo aragonés (actualmente sin servicio mercante transpirenaico), y la dirigida hacia el puerto de Valencia (Anexo 6).

En lo referente al tráfico de mercancías, en este nodo hay movimientos de diversos tipos de carga para diferentes tipos de industria. En primer lugar está el movimiento de portavehículos con destino puerto de Valencia principalmente procedentes de la factoría que Opel GM posee en Figeruelas. También existe movimiento de trenes de la industria papelera. Y por último, la mercancía estudiada en este trabajo, los contenedores.

En la ciudad de Zaragoza existen dos centros logísticos destinados al tratamiento de esta mercancía: el centro Zaragoza-Plaza y TMZ (Terminal Marítima de Zaragoza)



#### a. Zaragoza-Plaza

La terminal ferroviaria logística Zaragoza-Plaza, de titularidad pública pero gestión privada, se encuentra situada en la Plataforma Logística de Zaragoza. La ubicación geoestratégica de este centro logístico constituye uno de los nodos logístico-ferroviarios más importantes de la Red Ferroviaria de Interés General (Anexo 1) en España, no sólo por su diseño y capacidad operativa, sino además por su conveniente situación geográfica en relación a la interconexión de la RFIG española con la red ferroviaria europea, lo que le sitúa en una posición inmejorable como centro de transbordo para tráficos nacionales e internacionales España-Europa.

Técnicamente dispone de 19 vías para el tratamiento de trenes de hasta 850 metros de longitud, mientras que para el tratamiento de contenedores dispone de 5 vías con posibilidad de tratar trenes de la misma longitud, además de 37.000 metros cuadrados disponibles para el intercambio modal de contenedores gracias a su grúa pórtico y sus dos tractores.

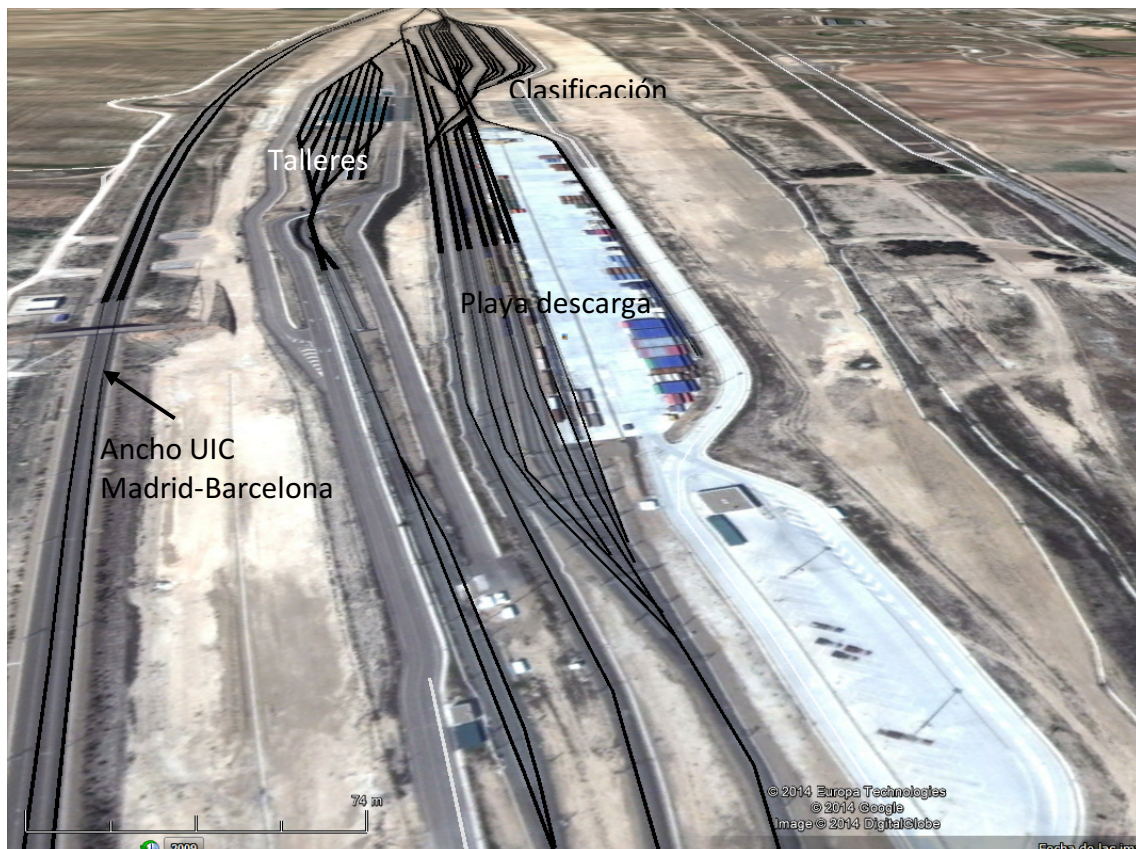
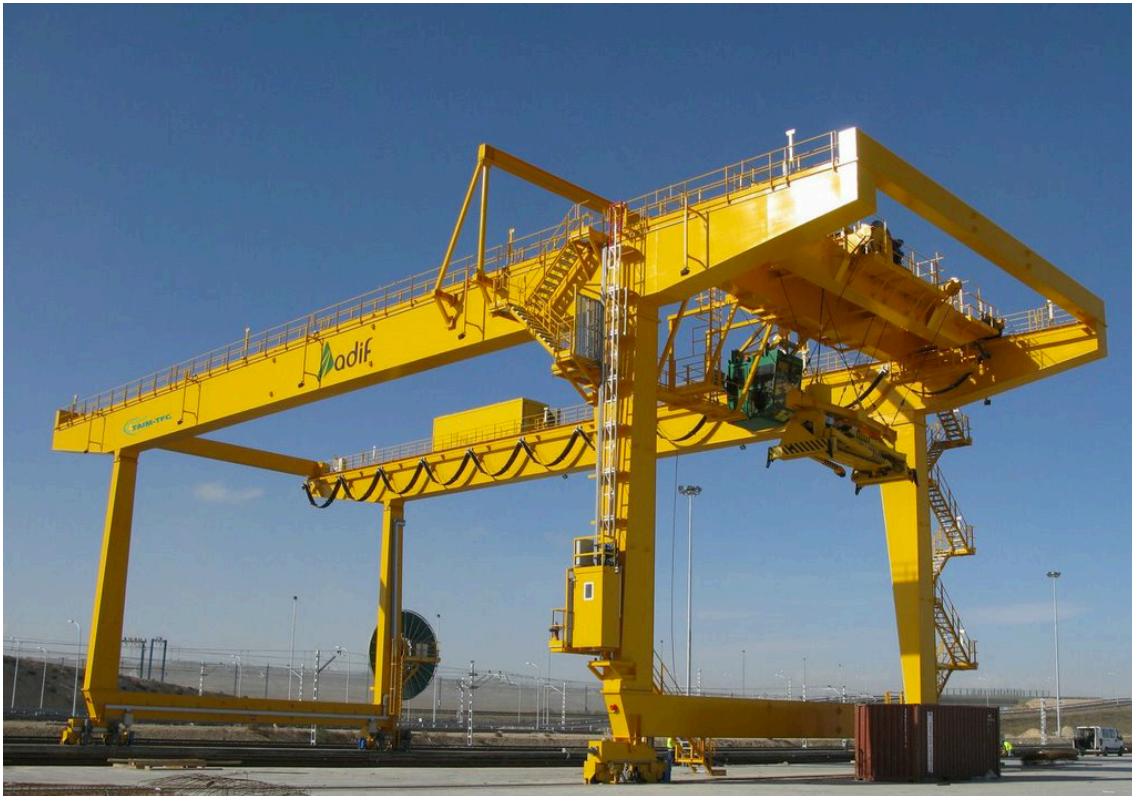


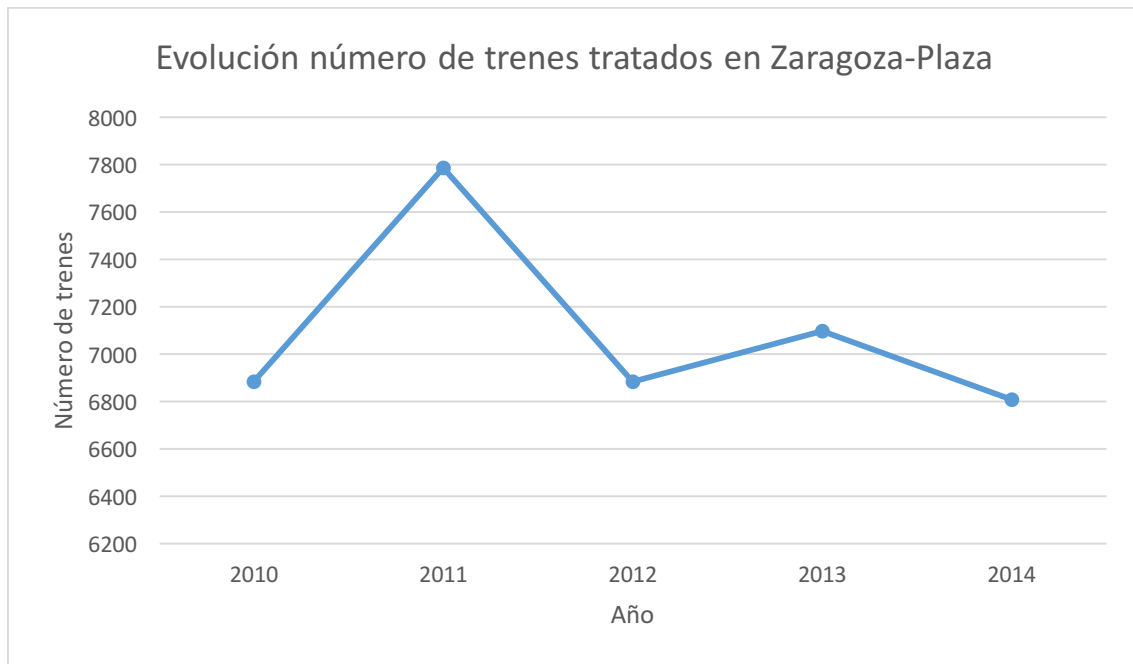
Figura 5. Zaragoza-Plaza



*Imagen 7. Grúa pórtico situada en Zaragoza-Plaza [10]*



*Imagen 8. Playa descarga Zaragoza-Plaza [11]*



*Figura 6. Número de trenes tratados en Zaragoza Plaza 2010-2014 [6]*

#### b. Terminal Marítima de Zaragoza

La terminal marítima de Zaragoza, puerto seco de la ciudad de Barcelona, es un centro logístico privado con presencia accionarial pública. Está compuesta por Mercazaragoza, la autoridad portuaria del Puerto de Barcelona, el Gobierno de Aragón (DGA), Ibercaja, Samca, Eurozasa y las terminales del puerto de Barcelona.

En la actualidad TMZ dispone de dos vías de descarga simultánea más una de espera, todas ellas con permiten la entrada de trenes de hasta 600 metros de longitud (ampliable a 750 metros).

Su conexión ferroviaria, cuenta con el enlace directo a la autopista vascoaragonesa, a la autovía de Madrid-Zaragoza y la autopista Zaragoza-Barcelona.





Imagen 9. Entrada Terminal Marítima de Zaragoza. [12]



Imagen 10. Composición con tracción de Continental Rail en TMZ. [13]

	Ancho vía	Longitud máxima (m)	Nº vías descarga
Zaragoza-Plaza	Ibérico	850	5
Terminal Marítima Zaragoza	Ibérico	600	2

Tabla 3. Resumen características fundamentales nodo ferroviario de Zaragoza

### iii. Barcelona

En el nodo ferroviario asociado a la ciudad de Barcelona, tenemos diversas estaciones logísticas relevantes. Además de las privadas y utilizadas con otros fines como son Martorell-Seat o Can Tunis, tenemos varias terminales a estudiar como son el puerto de Tarragona y el de Barcelona.

En relación al Puerto de Tarragona, dispone de varias terminales, una de ellas con tratamiento de TEU's, aunque no dispone de terminal ferroviaria portuaria para la carga y descarga directa de dichos contenedores.

Los esquemas ferroviarios del nodo ferroviario de Barcelona se detallan en el Anexo 7. En ellos podremos apreciar como, según lo especificado anteriormente, existe todo un ramal de tercer carril en los alrededores de Barcelona para la entrada de trenes con ancho internacional.



*Imagen 11. Puerto Tarragona [14]*



#### a. Barcelona

El puerto de Barcelona está compuesto por diferentes tipos de terminales (vehículos, combustibles, graneles, cruceros, contenedores...) Las relacionadas con este trabajo son únicamente las dedicadas al tratamiento, movimiento y almacenaje de TEU's. En este caso, el puerto de Barcelona dispone de tres terminales diferentes que realizan tratamiento de TEU's, dos de ellas son gestionadas privadamente y la tercera está gestionada por Adif.

Para cuantificar el movimiento de contenedores existente en el puerto de Barcelona, se conoce el dato de que durante el primer semestre del año 2016 se ha registrado un tráfico ferroviario de contenedores de 104.846 TEU's, suponiendo un aumento del 13% respecto al mismo período del año 2015. Este dato sitúa la cuota ferroviaria de contenedores del puerto de Barcelona en un 12% del tráfico total.

La terminal gestionada por Adif, es la denominada Barcelona-Morrot, la cual está inmersa en un plan vinculado al ayuntamiento de Barcelona para su traslado a la estación de Can Tunis (estación que actualmente realiza trabajos de taller, composición y clasificación).

Este centro está situado en un extremo del ramal de mercancías El Morrot-Can Tunis-Castellbisbal. Cuenta con cuatro haces vías de ancho ibérico y ancho internacional con un total de dieciocho vías, de las cuales cuatro tienen un tercer carril para permitir la entrada de trenes de ancho internacional. La longitud máxima admitida en este centro es 890 metros en vía de ancho mixto, aunque en realidad la longitud máxima admitida en las vías preparadas para el tratamiento de TEU's es de alrededor de 440 metros.



*Imagen 12. Estación Barcelona-Morrot [15]*

Por el contrario, la terminal de gestión privada BEST (Barcelona European South Terminal) está situada en el extremo sur del puerto. Cuenta con ocho vías de ancho mixto para el tratamiento de composiciones y actualmente tiene una frecuencia de ocho viajes semanales a Zaragoza (5 de ellos llevados a cabo por el operador logístico SICSA y los otros tres por TCB Railway) y tres semanales con Madrid (llevados a cabo por Hutchinson Logistics). Dispone de 8 vías de ancho mixto para el tratamiento de trenes de hasta 750 metros



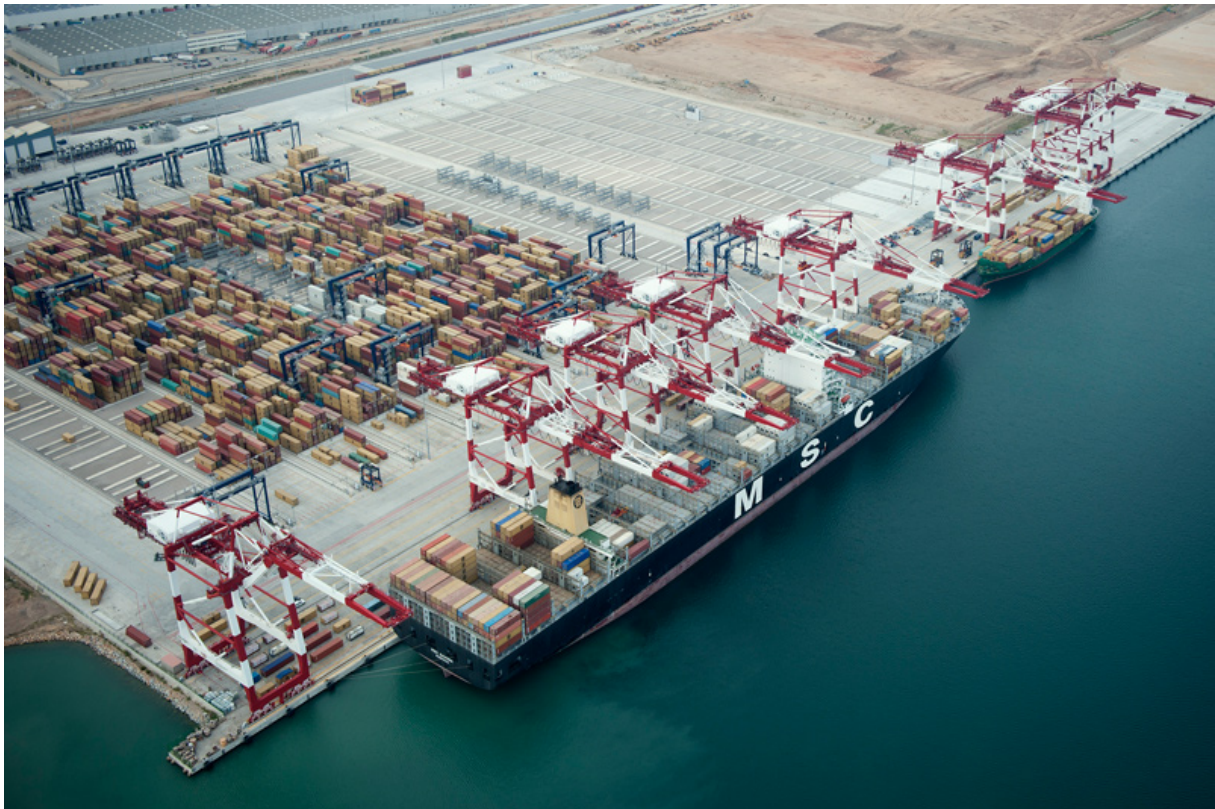


Imagen 13. Terminal BEST vista aérea [16]



Imagen 14. Terminal BEST [17]

Por último la terminal TCB del Puerto de Barcelona dispone actualmente de 5 vías (en proceso de ampliación a 6 vías) para el tratamiento de composiciones de alrededor de 750 metros de longitud. Una de ellas, dispone de tercer carril para el tratamiento de trenes con ancho internacional.

	Ancho vía	Longitud máxima (m)	Nº vías descarga
<i>Barcelona Morrot</i>	Tercer carril	440	12
<i>Terminal BEST</i>	Tercer carril	750	8
<i>Terminal TCB</i>	Tercer carril	500-750	6

*Tabla 4. Resumen características fundamentales nodo ferroviario de Barcelona*

## 7. LONGITUD MÁXIMA DE LA COMPOSICIÓN

La longitud máxima que puede alcanzar cualquier composición que circula por la Red Ferroviaria de Interés General, está limitada por varios factores diferentes como son:

- la normativa vigente,
- las limitaciones técnicas de la línea por la que se va a circular,
- las longitudes de las instalaciones en las que la composición va a realizar algún tipo de maniobra u operación
- y las vías de apartado de las estaciones de las que el tren va a hacer uso. De todos ellos, el más restrictivo será el que marque el criterio para el diseño de nuestro convoy.

Procedemos a definir cada uno de ellos a continuación.

### i. Normativa vigente

La legislación española fija la masa, la velocidad y la longitud máxima que pueden disponer todos los trenes de mercancías en nuestras líneas en función de varios criterios, como son el ancho de vía por el que se circula, el régimen de frenado del que dispone el tren y el tipo de composición.

En la página treinta y tres del Reglamento de Circulación Ferroviaria (Anexo 9), aprobado por el RD 664/2015 del 17 de julio de 2015, se establecen los límites anteriormente comentados para trenes de mercancías.

Según este primer criterio analizado, la longitud de la composición nunca podrá ser superior a los 750 metros. Esta longitud únicamente está permitida desde el año 2010 en trenes que realizan el recorrido Barcelona-Lyon y Madrid-Valencia. [18]

### ii. Limitaciones técnicas de la vía

Como segundo criterio, se encuentra las limitaciones técnicas de la línea. Estos criterios los establece la Declaración sobre la Red, publicada este año en el BOE del día 1 de marzo de 2016, en la que podemos ver todos los límites y características de todas las líneas del territorio español. [19] El mapa número 11 incluido en dicho documento (Anexo 3) determina la longitud máxima de los trenes de mercancías en toda la red ferroviaria



española. En el caso que nos ocupa, la longitud básica se establece en 450 metros, mientras que la especial está fijada en 550 metros.

En este caso, elegiremos la longitud especial, ya que el único criterio para poder circular con dicha longitud especial es solicitar autorización expresa a la Subdirección de Planificación y Gestión de Capacidad de la Dirección de Planificación y Gestión de Red para trenes Regulares u Ocasionales.

### iii. Características instalaciones logísticas

EL tercer criterio para determinar la longitud máxima de la composición se basa en la longitud máxima de trenes que admiten las estaciones logísticas para movimiento de TEU's que se encuentran en nuestra línea. En este caso, únicamente nos fijaremos en los cuatro centros importantes situados en la línea en los que puede haber movimientos de esta mercancía como son Madrid-Abroñigal, Zaragoza-Plaza, Tarragona Mercancías y Barcelona-Morrot.

Dejaremos al margen todas las instalaciones comentadas anteriormente como el Puerto Seco de Madrid-Coslada, el Puerto Seco de Azuqueca de Henares o TMZ, por citar algunos ejemplos, debido a que su titularidad "privada" hace que en ellas se formen trenes más específicos como son los dirigidos a sus puertos marítimos.

Para este criterio, nos fijaremos en el Anexo J (Anexo 10) incluido en la Declaración sobre la Red 2016.

	<b>Madrid- Abroñigal</b>	<b>Zaragoza- Plaza</b>	<b>Tarragona Mercancías</b>	<b>Barcelona Morrot</b>
<i>Longitud máxima admitida (metros)</i>	530	885	538	890
<i>Empresa concesionaria explotación</i>	UTE TILO	NOATUM RAIL	TRANSPORTES PORTUARIOS	SEFEMED

*Tabla 5. Longitudes máximas estaciones logísticas.*

Según este criterio, la longitud máxima permitida para nuestro convoy serán 530 metros, limitado por la estación de Madrid-Abroñigal.

#### iv. Vías de apartado

Con este criterio, la composición tendrá limitada su longitud por aquellas vías de apartado existentes a lo largo de la línea en la cuales se pueda hacer una parada técnica para ser adelantada por otros trenes, ya bien sean de pasajeros o mercantes que circulen a distinta velocidad.

Con motivo del tiempo necesario para realizar una parada en una vía de apartado (frenado, bloqueos, señalizaciones y puesta de nuevo en funcionamiento), estas paradas intentan realizarse lo mínimo posible.

Estas vías situadas junto a las vías principales con andenes de las estaciones intermedias, son utilizadas únicamente cuando por motivos diversos, la malla ferroviaria se desvía de la teórica. Estos motivos pueden ser tales como retrasos, averías, incidencias...

En este proyecto, estudiamos las condiciones ideales de la línea, por lo que supondremos que la malla ferroviaria teórica estudiada en el apartado 9, se cumplirá.

## 8. LOCOMOTORA Y PLATAFORMA

### i. Tracción

Las limitaciones de longitud estudiadas en el apartado anterior las utilizaremos para poder diseñar nuestro convoy. Para este estudio, la longitud máxima permitida más restrictiva es 530 metros, por lo que nuestra composición en ningún caso podrá superar esta longitud.

Como tracción hemos escogido, entre todas las opciones disponibles (Anexo 11), la serie serie 253 propiedad de Renfe (Anexo 12). Los motivos han sido varios:

- la relación peso-potencia
- la gran disponibilidad de esta máquina (actualmente Renfe dispone de 100 unidades) [20], ya que es una de las más comunes en Renfe y el depósito de todas ellas está en Vicálvaro o Can Tunis.
- la potencia desarrollada sin necesidad de formar tándem.

	Peso (t)	Potencia (kW)	Relación Peso-Potencia (t/kW)
<i>Serie 250 (Sin Servicio)</i>	124	4.600	0,026956
<i>Serie 251</i>	138	4.650	0,029677
<i>Serie 253</i>	87	5.600	0,015178
<i>Serie 269.100</i>	88	3.100	0,028387
<i>Serie 269.200</i>	88	3.100	0,028387
<i>Serie 269.700</i>	88	3.100	0,028387
<i>Serie 269.850 (Tándem)</i>	176	6.200	0,028387
<i>Serie 269.950</i>	88	3.100	0,028387
<i>Serie 279.000</i>	80	2.700	0,029629
<i>Serie 289.000 (Sin servicio)</i>	84	3.100	0,027097
<i>Serie 289.100 (Tándem)</i>	168	6.200	0,027097

Tabla 6. Relación Peso Potencia tracción Renfe

En el anexo 12 podemos ver todas las características técnicas de la tracción escogida, entre ellas, la longitud entre topes. Esta longitud es fundamental para poder calcular el número de plataformas máximo que podrá arrastrar la composición sin sobrepasar la longitud máxima. En este caso, esta longitud es 18,9 metros.





*Imagen 15. Serie 253 [21]*



*Imagen 16. Serie 253 [22]*

	<b>Peso (t)</b>	<b>Longitud entre topes (m)</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Potencia (CV)</b>	<b>Ejes</b>	<b>Potencia por eje (CV/eje)</b>	<b>Peso adherente (t)</b>
<i>Serie 253</i>	87	18,9	5600	7613,87	Bo-Bo	1903,47	21,75

*Tabla 7. Características técnicas Serie 253*

## ii. Plataforma

En cuanto a las plataformas disponibles para nuestra composición, en el catálogo de Renfe aparecen cinco modelos distintos para escoger (Anexo 13). De todos ellos hemos escogido el modelo MMC. El principal motivo por el que escogemos esta opción es su longitud. Mide 19,90 metros entre topes y su largo útil para el transporte de contenedores es 18,66 metros.

Estas dimensiones nos permiten más combinaciones que el resto de plataformas. Es decir, podemos hacer diferentes organizaciones de contenedores de 20 pies con contenedores de 40 pies para poder transportar una mayor variedad de contenedores de empresas diferentes hasta un máximo de 60 pies. Con el resto de plataformas disponibles, únicamente podríamos llegar a transportar 2 TEU's por plataforma, mientras que con el modelo escogido podríamos llegar a transportar hasta 3. Todas las medidas de los contenedores están estandarizados mediante Normas ISO (Anexo 14)

La longitud de la plataforma, así como su peso máximo permitido, lo usaremos en el siguiente apartado para calcular la longitud máxima de la composición así como la velocidad máxima que podrá llevar la composición en función de la pendiente de la vía.

	<b>Carga máxima (t)</b>	<b>Peso por eje (t)</b>	<b>Velocidad máxima (km/h)</b>	<b>Longitud entre topes (m)</b>
<i>Serie MCI</i>	33/32,5	22,5	120	13,86
<i>Serie MC</i>	27,85/28,8	20	100	13,86
<i>Serie MC3</i>	32,5/33	22,5	120	13,86
<i>Serie MC4E</i>	32,2	22,5	120	15,08
<i>Serie MMC</i>	58/59	39,5	100	19,90

*Tabla 8. Características fundamentales plataformas*

### iii. Cálculos

Para los cálculos relativos a la composición, utilizaremos todos los datos técnicos disponibles tanto de la tracción como de la plataforma. Relativo a la tracción necesitaremos tanto el peso como la longitud además de su potencia tanto en kilovatios como en caballos de vapor. También es muy importante la composición de ejes de los que dispone la máquina, ya que con ello determinaremos tanto la potencia en cada eje como su peso adherente (Anexo 1)

En cuanto a la plataforma, tendremos que tener en cuenta su longitud entre topes, así como su peso en vacío y la carga máxima permitida. Para saber cuantas plataformas podremos arrastrar sin superar la longitud máxima permitida según lo citado anteriormente en este estudio, deberemos restar a la longitud máxima permitida la longitud de la locomotora y dividir entre la longitud entre topes de la plataforma

	<b>Serie MCI</b>	<b>Serie MC</b>	<b>Serie MC3</b>	<b>Serie MC4E</b>	<b>Serie MMC</b>
<i>Número máximo de vagones</i>	37	37	37	34	26
<i>Número máximo de TEU's transportados</i>	74	74	74	68	78

*Tabla 9. Capacidad plataformas.*

Un factor fundamental en el ferrocarril es la adherencia. El coeficiente de adherencia es la relación entre el esfuerzo máximo que puede ser aplicado a la llanta sin patinaje y el peso de la rueda. Dicho coeficiente se calcula con la siguiente fórmula:

$$\phi = \frac{0,24}{1 + 0,01 * v}$$

siendo v la velocidad de la tracción en km/h. Estos cálculos se han realizado en el Anexo 15 para nuestra locomotora. Cuando el esfuerzo es mayor que el producto de el Peso adherente y el coeficiente de adherencia para dicha velocidad, la rueda desliza sobre el carril. El citado coeficiente de adherencia es máximo en el arranque, de esta manera utilizamos el máximo esfuerzo que nos da la locomotora.

Además, hay que tener en cuenta que la adherencia fija un límite sobre el esfuerzo motor y la potencia aplicable a un eje. Este límite se puede calcular de la siguiente manera,

$$W \text{ (CV)} = \frac{100}{27} * \frac{P * \phi * v}{(1 * 0,01 * v)}$$

siendo P el peso adherente de la tracción,  $\phi$  el coeficiente de adherencia y v la velocidad de la locomotora en km/h. Dichos cálculos se encuentran incorporados en el Anexo 15. Allí se puede comprobar que para cualquier velocidad permitida para nuestra composición (entre 0 y 100 km/h) el límite es superior a la potencia aplicada a cada eje.

Por último, hemos de conocer la potencia necesaria para arrastra nuestra composición y poder salvar las rampas características de la línea a lo largo de todo el recorrido. Esta potencia se obtiene mediante la fórmula

$$W_T = \frac{P_{\text{tren}}(\text{daN}) * \psi * v \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}{75}$$

siendo P el peso total de la composición (en nuestro caso es 214 toneladas o 2098180 daN) y  $\psi$  un coeficiente que será 0,003 para puntos sin rampa y 0,003 más la rampa característica dividida para 1000.

Con esta ecuación podemos saber la velocidad máxima que podrá alcanzar nuestra composición en cada punto de la línea férrea en función de su pendiente para todas las plataformas estudiadas.

Las ecuaciones anteriormente citadas, son introducidas en una tabla Excel desarrollada expresamente para este proyecto mediante la cual podemos realizar el análisis de la comprobación de la adherencia para cualquier velocidad comprendida entre cero y cien kilómetros por hora (la máxima legal permitida) en cualquier pendiente o rampa que nos pudiésemos encontrar en nuestra línea según la Declaración de la Red.

Esta tabla nos comprobará la potencia necesaria para cualquier velocidad en todas las pendientes posibles. Como podemos observar a continuación, para una rampa del cero milésimas, la potencia necesaria se respeta para cualquier velocidad entre cero y 27,78 metros por segundo. La columna con color verde, tornaría roja en el momento en que una determinada velocidad no cumpliera la condición de potencia necesaria para esa rampa, tal y como podemos observar en el ejemplo de rampa 9 milésimas.

v (m/s)		i=0	
0		0	1
0,277777778		23,31311111	1
0,555555556		46,62622222	1
0,833333333		69,93933333	1
1,111111111		93,25244444	1
1,388888889		116,5655556	1
1,666666667		139,8786667	1
1,944444444		163,1917778	1
2,222222222		186,5048889	1
2,5		209,818	1
23,05555556		1934,988222	1
23,33333333		1958,301333	1
23,61111111		1981,614444	1
25		2098,18	1
25,27777778		2121,493111	1
25,55555556		2144,806222	1
25,83333333		2168,119333	1
26,11111111		2191,432444	1
26,38888889		2214,745556	1
26,66666667		2238,058667	1
26,94444444		2261,371778	1
27,22222222		2284,684889	1
27,5		2307,998	1
27,77777778		2331,311111	1

v (m/s)	i=9	
0	0	1
0,277777778	93,25244444	1
0,555555556	186,5048889	1
0,833333333	279,7573333	1
1,111111111	373,0097778	1
1,388888889	466,2622222	1
1,666666667	559,5146667	1
1,944444444	652,7671111	1
2,222222222	746,0195556	1
2,5	839,272	1
21,66666667	7273,690667	1
21,94444444	7366,943111	1
22,22222222	7460,195556	1
22,5	7553,448	1
22,77777778	7646,700444	0
23,05555556	7739,952889	0
23,33333333	7833,205333	0
23,61111111	7926,457778	0
23,88888889	8019,710222	0
24,16666667	8112,962667	0
24,44444444	8206,215111	0
24,72222222	8299,467556	0
25	8392,72	0
25,27777778	8485,972444	0
25,55555556	8579,224889	0
25,83333333	8672,477333	0
26,11111111	8765,729778	0
26,38888889	8858,982222	0
26,66666667	8952,234667	0
26,94444444	9045,487111	0
27,22222222	9138,739556	0
27,5	9231,992	0
27,77777778	9325,244444	0

Tabla 10. Comprobación potencia necesaria. Elaboración propia.



Con esta forma visual de comprobar la adherencia para cada rampa, obtenemos la siguiente gráfica para cada valor de rampa.

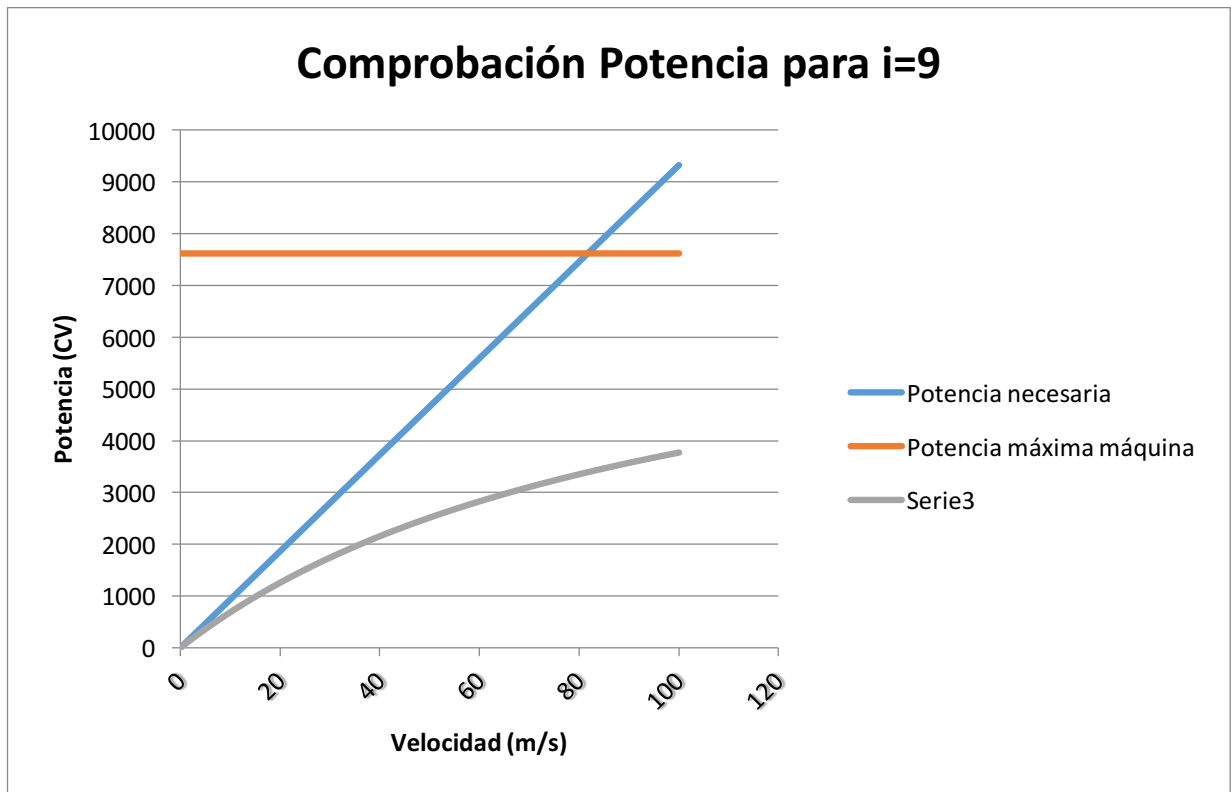


Figura 7. Comprobación potencia necesaria para  $i=9$ . Elaboración propia.

Mediante la las gráficas obtenidas individualmente como la anterior para cada valor de rampa, elaboramos la grafica siguiente en la que podemos ver la velocidad máxima que podremos mantener en cada tramo de la línea en función únicamente de su pendiente.

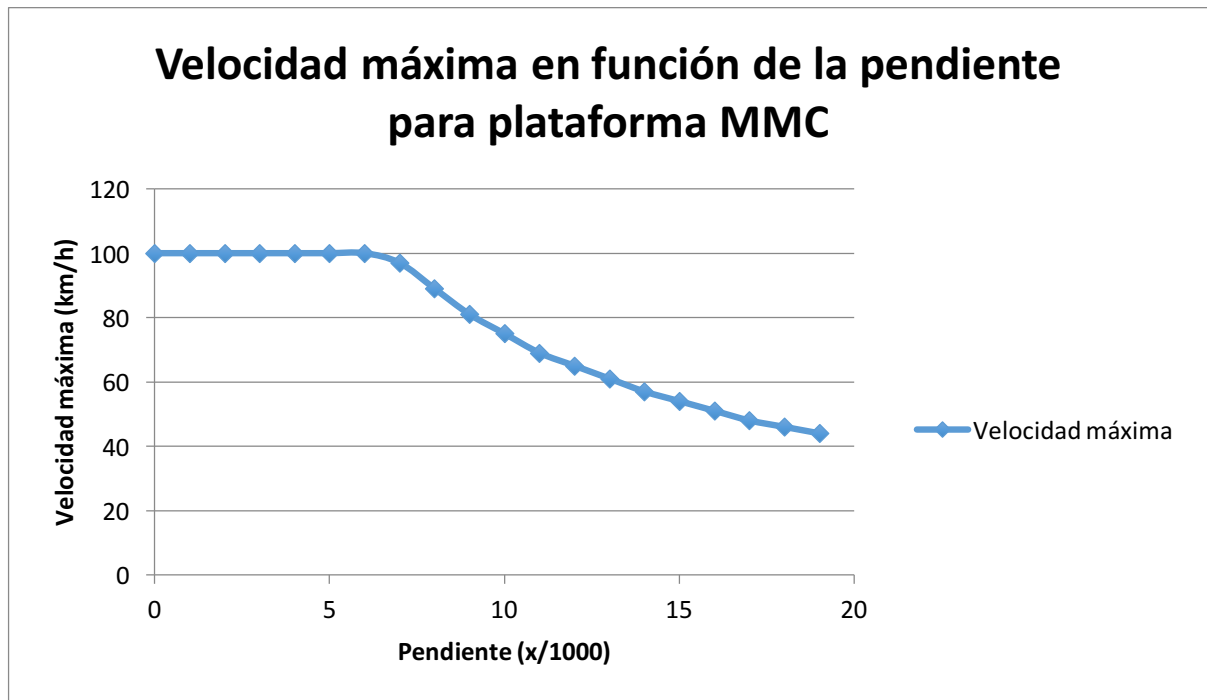


Figura 8. Velocidad máxima en función de la pendiente para modelo de plataforma MMC. Elaboración propia.



## 9. CAPACIDAD DE LA LÍNEA

Mediante el estudio de la capacidad de la línea podemos estudiar la viabilidad de introducir nuevas composiciones en la línea. Además podremos ver los momentos idóneos para introducir nuestra composición en la línea, algo que necesitaremos posteriormente para calcular el coste de los cánones ferroviarios.

Para este análisis se estudiarán todos los trenes de viajeros (de los mercantes no hay horarios públicos ni definidos) que circulan por cualquier tramo de nuestra línea, incluidos aquellos que únicamente realizan un tramo para posteriormente realizar un cambio de línea.

Gracias a este estudio, podremos realizar una malla ferroviaria gráfica, con la que podremos realizar el análisis necesario.

Para realizar esta malla ferroviaria, se realiza un documento Excel con el que podremos analizar horarios y trazados de los trenes de viajeros que circulan por nuestra línea. En él introducimos todos los trenes con recorrido, o parte de él, por la línea estudiada.

En dicho gráfico, las líneas de color azul representan todos aquellos trenes que realizan el recorrido, o un tramo de él, entre Madrid y Barcelona, circulando por el tramo ferroviario comprendido en el Bajo Aragón.

Por el contrario, en naranja podemos ver aquellos trenes que realizan el recorrido por la línea Madrid-Zaragoza-Huesca-Lleida, ya que como se comentó anteriormente, los trenes mercantes pueden ir por cualquiera de los dos recorridos en función únicamente del tráfico en cada momento.

Para mostrar la malla ferroviaria, se procede a adjuntarlas como Anexo 18 debido al tamaño necesario para su correcta visualización.

Gracias a este estudio, podemos ver los horarios en los que resultará más factible la inclusión de nuestra composición en la red ferroviaria. Además, y cómo veremos en el capítulo siguiente, gracias a esta malla podremos decidir introducir el convoy en aquel horario que menores costes tenga.

## 10. COSTES INCURRIDOS

El transporte por ferrocarril, al igual que el transporte en cualquier medio de transporte tiene una estructura de costes divididos en dos grandes grupos, como son costes directos e indirectos.

Dicha estructura de costes está explicada gráficamente en el Anexo 19.

En este estudio, nos centraremos en los costes operativos de explotación del servicio, como pueden ser:

- Energía consumida
- Costes mantenimiento
- Cánones ferroviarios

### i. Energía

En primer lugar estudiaremos el coste de la energía. Debido a que nuestra línea está totalmente electrificada, obviaremos el coste del combustible que sí tendrían otras líneas o locomotoras. Debido a que no todas las locomotoras están dotadas de sistemas que cuantifiquen la energía consumida en cada instante, el gestor de infraestructuras cobra un canon que únicamente depende de las toneladas que remolca el tren y los kilómetros recorridos, independientemente de si su recorrido contiene rampas o pendientes. Obviamente, la tendencia es la automatización de la cuantificación de energía consumida por cada composición individualmente.

En el año 2008, último dato disponible, el coste aproximado era de 1,86 € por cada 1000 toneladas kilómetro brutas remolcadas (peso de la carga más la tara de las plataformas). Esto quiere decir que nuestra composición, que tendría un peso de 2054 toneladas remolcadas, tendría un coste aproximado de 2.700 €

## ii. Mantenimiento

Los costes de mantenimiento de las locomotoras eléctricas están fijados en alrededor de 1,2 €/km, lo que quiere decir que la tracción de la serie 253 que hemos elegido, tendrá un coste estimado de 840 € por realizar el trayecto Madrid-Barcelona completo. Aunque como curiosidad es importante saber que este coste de mantenimiento de las 100 locomotoras de la Serie 253 adquiridas por Renfe a la constructora Bombardier, tienen incluido el mantenimiento en el precio de compra. Es decir, cada tracción tuvo un coste de 4,16 millones de € en lugar de los 2,37 millones de € de previo de venta debido a que está incluido el mantenimiento durante los 14 primeros años.

En relación al coste de mantenimiento de las plataformas, está estimado en alrededor de un 3% de su valor de adquisición, teniendo en cuenta que el precio de compra puede rondar los 60.000 € para un recorrido medio de 40.000 kilómetros al año. Es decir, nuestra composición tendría un precio aproximado de mantenimiento de 1,17 € cada kilómetro.

## iii. Cánones

Además de los costes citados anteriormente, existen unos costes fijos que las empresas que explotan líneas ferroviarias se ven obligadas a pagar al Administrador de dicha infraestructuras por su uso. Estos costes se denominan cánones y existen tres diferentes: acceso, reserva de capacidad y circulación.

El canon de acceso regula el derecho de utilización de la RFIG titularidad de ADIF. La cuantía por acceder a la Red Ferroviaria de Interés General se determina en función del tipo de tramos de red en los que se pretende prestar los servicios y la declaración de actividad realizada por el sujeto pasivo de acuerdo con el nivel de tráfico previsto en cada uno de ellos.

<b>Nivel</b>	<b>Volumen de tráfico</b>	<b>€/año</b>
N1.A	≤0,2 mill km/tren-año	60.600,00 €
N1.B	<0,2 y ≤0,5 mill km/tren-año	151.500,00 €
N1.C	<0,5 y ≤1 mill km/tren-año	303.000,00 €
N2.A	<1 y ≤2,5 mill km/tren-año	757.500,00€
N2.B	<2,5 y ≤5 mill km/tren-año	1.515.000,00 €
N2.C	<5 y ≤10 mill km/tren-año	3.030.000,00 €
N3.A	<10 y ≤15 mill km/tren-año	4.545.000,00 €
N3.B	<15 y ≤20 mill km/tren-año	6.060.000,00 €
N3.C	<20 y ≤30 mill km/tren-año	7.575.000,00 €
N3.D	<30 y ≤40 mill km/tren-año	9.090.000,00 €
N3.E	<40 y ≤50 mill km/tren-año	12.120.000,00 €
N3.F	>50 mill km/tren-año	15.150.000,00 €

*Tabla 11. Tabla cánones acceso para líneas tipo A [23]*

El siguiente canon es de reserva de capacidad. Este canon grava la disponibilidad del trayecto solicitado. Las cuantías de ese canon se establecen en función de los kilómetros-tren reservado teniendo en cuenta el tipo de línea, el tipo de servicio, el tipo de tren y el período del día en el que se realice la reserva

<b>Período Horario</b>	<b>Tipo Línea</b>	<b>Tipo de tren</b>
<i>Punta (7:00h a 09:29h y 18:00h a 20:29h)</i>		Mercancías
		€/Tren-km reservado
	A1	0,5757
	A2	0,5757
	B1	0,5757
	C1	0,3333
	C2	0,3333
	A1	0,5757
	A2	0,5757
	B1	0,5757
<i>Normal (09:30h a 17:59h y 20:30h a 23:59h)</i>	C1	0,0505
	C2	0,0505
	A1	0,5757
	A2	0,5757
	B1	0,5757
	C1	0,0505
<i>Valle (0:00h a 06:59h)</i>	C2	0,0505
	A1	0,5757
	A2	0,5757
	B1	0,5757

Tabla 12. Tabla cánones reserva de capacidad trenes mercancías [23]

Por último sólo queda el canon por circulación, el cual regula la utilización efectiva de la capacidad reservada. Las cuantías de este canon las marca los kilómetros-tren realmente utilizados, teniendo en cuenta el tipo de línea y el tipo de servicio prestado.

<b>Tipo Línea</b>	<b>Tipo de Servicio/tren</b>
	Mercancías
	€/Tren-km Circulado
	A1 0,5050
	A2 0,5050
	B1 0,5050
	C1 0,0606
	C2 0,0606

Tabla 13. Tabla cánones circulación mercancías [23]



## 11. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Con todos los resultados y datos obtenidos durante este estudio y junto a la malla ferroviaria estudiada en el apartado 9, podemos obtener conclusiones sobre cuál sería el hipotético mejor horario para introducir la composición ideal calculada anteriormente en la RFIG.

- i. En primer lugar nuestra composición estaría formada por una locomotora de la Serie 253 propiedad de Renfe, la cual tiene una potencia de 5600 kW
- ii. Esta tracción arrastrará un total de 26 plataformas de la Serie MMC con disponibilidad de transportar un total de 78 contenedores de 20 pies.
- iii. Nuestra composición tendrá varias franjas horarias idóneas en las que circular, aunque la ideal es desde las 23:00 horas hasta las 06:00 horas en cualquier tramo de la línea.
- iv. Por último, los costes asociados operativos de explotación asociados a nuestra composición, vendrán determinados por el valor de la energía consumida, el mantenimiento de los equipos utilizados y los cánones ferroviarios. Estos costes dependerían del recorrido utilizado, aunque en nuestro caso, tanto la línea Madrid-Barcelona (Línea tipo A1) como la línea Zaragoza-Lleida (Línea tipo A2) los cánones ferroviarios de reserva de capacidad y circulación tienen el mismo importe.

## 12. FUENTES DE INFORMACIÓN

### i. Bibliografía

[T1] Larrodé Pellicer, E. (2007). Ferrocarriles y tracción eléctrica. Zaragoza: Copy Center Digital.

### ii. Otras fuentes de información

[1] Datos Banco Mundial

<http://data.worldbank.org/indicator/IS.SHP.GOOD.TU?end=2014&start=2014&view=map>

[2] Estación clasificadora de Vicálvaro

[https://www.google.es/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwirmYaUoJzPAhUDPhQKHdJACGUQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.aeutransmer.com%2F2016%2F07%2F01%2Fel-futuro-vicalvaro-mercancias-contara-con-18-vias-de-expedicion-y-una-estacion-intermodal%2F&bvm=bv.133178914,d.d24&psig=AFQjCNFh6\\_7TJvR8zdncLTZlhskiq2v5Gw&ust=1474402680840590](https://www.google.es/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwirmYaUoJzPAhUDPhQKHdJACGUQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.aeutransmer.com%2F2016%2F07%2F01%2Fel-futuro-vicalvaro-mercancias-contara-con-18-vias-de-expedicion-y-una-estacion-intermodal%2F&bvm=bv.133178914,d.d24&psig=AFQjCNFh6_7TJvR8zdncLTZlhskiq2v5Gw&ust=1474402680840590)

[3] Tren butanero saliendo de Torrejón de Ardoz con planta butanera al fondo

[http://www.ferropedia.es/mediawiki/images/thumb/e/e5/333354\\_Renfe - Torrejon de Ardoz - 2014-02-19 - AlvaroBa.jpg/360px-333354 Renfe - Torrejon de Ardoz - 2014-02-19 - AlvaroBa.jpg](http://www.ferropedia.es/mediawiki/images/thumb/e/e5/333354_Renfe_-_Torrejon_de_Ardoz_-_2014-02-19_-_AlvaroBa.jpg/360px-333354_Renfe_-_Torrejon_de_Ardoz_-_2014-02-19_-_AlvaroBa.jpg)

[4] Vista aérea Madrid-Abroñigal

[http://www.adif.es/es\\_ES//img/fichas/ADIF0010449-017.jpg](http://www.adif.es/es_ES//img/fichas/ADIF0010449-017.jpg)

[5] Playa de descarga con grúas pórtico en Madrid-Abroñigal

<[http://www.utetilo.com/images/product9\\_big.jpg](http://www.utetilo.com/images/product9_big.jpg)>

[6] Evolución trenes tratados anualmente en Madrid-Abroñigal

<[http://observatoriotransporte.fomento.es/NR/rdonlyres/0AE839CF-9E00-46F3-A27C-88B14AC37715/136237/INFORME\\_OTLE\\_2015.pdf](http://observatoriotransporte.fomento.es/NR/rdonlyres/0AE839CF-9E00-46F3-A27C-88B14AC37715/136237/INFORME_OTLE_2015.pdf)>

[7] Evolución TEU's movidos en Puerto Seco de Madrid según destino/origen

<<http://www.puertoseco.com/español/historicodetrafficos.html>>

[8] Vista aérea Puerto Seco Madrid-Coslada

<[https://www.alimarket.es/media/images/2016/detalle\\_art/204291/52133\\_preview.jpg](https://www.alimarket.es/media/images/2016/detalle_art/204291/52133_preview.jpg)>

[9] Vista aérea Puerto Seco Azuqueca de Henares

<<http://www.maritimoportuario.cl/mp/wp-content/uploads/2015/08/Puerto-Seco-Azuqueca-España.jpg>>

[10] Grúa pórtico situada en Zaragoza-Plaza

<[http://www.taimwesser.com/admin/admin/imgs/201622695054\\_gru-a-contenedores-plaza.jpg](http://www.taimwesser.com/admin/admin/imgs/201622695054_gru-a-contenedores-plaza.jpg)>

[11] Playa descarga Zaragoza-Plaza

<[http://www.adif.es/es\\_ES/img/fichas/360X6435.jpg](http://www.adif.es/es_ES/img/fichas/360X6435.jpg)>

[12] Entrada Terminal Marítima de Zaragoza

<<http://www.mercazaragoza.es/mercados-y-areas/entrada-tmz.jpg>>

[13] Composición con tracción de Continental Rail en TMZ

<<http://www.tmzaragoza.com/img/2-fototmz.jpg>>

[14] Puerto Tarragona

<<http://www.porttarragona.cat/images/1078.jpg>>

[15] Estación Barcelona-Morrot

<[http://www.ferropedia.es/mediawiki/images/thumb/a/ab/El\\_Morrot.JPG/360px-El\\_Morrot.JPG](http://www.ferropedia.es/mediawiki/images/thumb/a/ab/El_Morrot.JPG/360px-El_Morrot.JPG)>

[16] Terminal BEST vista aérea

<<http://content.portdebarcelona.cat/cntmng/d/d/workspace/SpacesStore/8607f0b7-fc7e-468f-a8f1-69e5c205c11c/best.jpg>>

[17] Terminal BEST

<<http://www.best.com.es/wp-content/uploads/2014/10/BEST-B-113.2.jpg>>

[18] <[http://www.ferropedia.es/wiki/Tren de mercanc%C3%ADas](http://www.ferropedia.es/wiki/Tren_de_mercanc%C3%ADas)>

[19]

<[http://www.adif.es/es\\_ES/conoceradif/doc/CA\\_DRed\\_Completo.pdf](http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/doc/CA_DRed_Completo.pdf)>

[20] <<http://www.listadotren.es/motor/series.php?id=371>>

[21] Serie 253

<<http://www.listadotren.es/motor/fotomotor/9736.jpg>>

[22] Serie 253

<<http://www.listadotren.es/motor/fotomotor/7276.jpg>>

[23]

<[http://www.adif.es/es\\_ES/conoceradif/doc/CA\\_DRed\\_Capitulo\\_6.pdf](http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/doc/CA_DRed_Capitulo_6.pdf)>

[24]

<[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a2/Track\\_gauge.svg/1920px-Track\\_gauge.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a2/Track_gauge.svg/1920px-Track_gauge.svg.png)>

[25] <<http://www.zarca.es/imagenes/cont20.jpg>>

[26] <[http://www.adif.es/es\\_ES/img/fichas/T-959\\_\(64\)b.jpg](http://www.adif.es/es_ES/img/fichas/T-959_(64)b.jpg)>

[27]

<[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cd/ASF\\_A\\_-\\_Baliza.jpg/300px-ASF\\_A\\_-\\_Baliza.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cd/ASF_A_-_Baliza.jpg/300px-ASF_A_-_Baliza.jpg)>

Anexo 3

<[http://adif.es/eu\\_ES/conoceradif/doc/CA\\_DRed\\_Mapas.pdf](http://adif.es/eu_ES/conoceradif/doc/CA_DRed_Mapas.pdf)>



#### Anexo 8

<[http://www.adif.es/es\\_ES/conoceradif/doc/CA\\_DRed\\_Completo.pdf](http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/doc/CA_DRed_Completo.pdf)>

#### Anexo 9

<<https://www.boe.es/boe/dias/2015/07/18/pdfs/BOE-A-2015-8042.pdf>>

#### Anexo 10

<[http://www.adif.es/es\\_ES/conoceradif/doc/CA\\_DRed\\_Completo.pdf](http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/doc/CA_DRed_Completo.pdf)>

#### Anexo 12

<<http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-vehicles/locomotives/traxx.html>>

#### Anexo 19

<[http://www.adif.es/es\\_ES/conoceradif/doc/CA\\_DRed\\_Completo.pdf](http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/doc/CA_DRed_Completo.pdf)>