

Trabajo Fin de Grado

Análisis de prestaciones de unidades ligeras de transporte de viajeros por ferrocarril para su uso en la movilidad de viajeros en rutas regionales

Performance analysis of light rail passenger transport units for use in passenger mobility on regional routes

Autor/es

Paula Reguera Carrera

Director/es

Emilio Larrodé Pellicer

Ingeniería de Tecnologías Industriales

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2022



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe remitirse a seceina@unizar.es dentro del plazo de depósito)

D./D^a. Paula Reguera Carrera con DNI 49384103K ,

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 Estudios de la titulación de

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

(Título del Trabajo)

Análisis de prestaciones de unidades ligeras de transporte de viajeros por ferrocarril para su uso en la movilidad de viajeros en rutas regionales.

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

Zaragoza, 25/11/2022

Fdo: Paula Reguera Carrera

Resumen

El objetivo es el análisis de prestaciones de unidades de trenes ligeras para viajeros, comparando diferentes alternativas de motorización, y su estudio de implantación en las líneas con origen destino Zaragoza. Se trata de estudiar un nuevo concepto de transporte de viajeros regional por ferrocarril que permita aprovechar las líneas ferroviarias en rutas regionales con baja demanda de viajeros, utilizando tecnologías de tracción que permiten reducir los costes de operación y mantenimiento, así como las emisiones contaminantes.

La metodología que se va a seguir consiste en un análisis técnico de las líneas a cubrir y de las prestaciones de las unidades que se necesitan de acuerdo a las características de la línea, y de los requisitos iniciales de capacidad de transporte. Se compararán diferentes alternativas con la tecnología disponible actualmente. Se simulará la operativa de este sistema de transporte, en función de la demanda prevista y la capacidad de la línea.

ÍNDICE

Resumen	1
0. Introducción	4
1. Caracterización de las líneas regionales en el entorno de Zaragoza	5
1.1 Identificación de las líneas regionales que salen de Zaragoza	5
1.2 Características técnicas de dichas líneas regionales.....	8
1.3 Demanda poblacional	9
2. Características técnicas de unidades ferroviarias ligeras para viajeros	13
2.1 Modelo japonés	13
2.2 Modelo alemán.....	14
2.3 Modelo inglés	14
2.4 Modelo francés.....	16
3. Determinación de las prestaciones necesarias de la unidad de acuerdo con las líneas	17
4. Análisis de alternativas de sistemas de tracción.....	19
5. Comparativa de consumos y emisiones con transporte terrestre por carretera	20
5.1 Modelos de automotor en las diferentes líneas.....	20
5.2 Modelo de autobús.....	22
5.3 Obtención de perfiles, variación de velocidad y consumos de cada una de las líneas.....	23
5.3.1 Línea 1: Calatayud-Monreal de Ariza.....	23
5.3.2 Línea 2: Zaragoza-Gallur	38
5.3.3 Línea 3: Huesca-Canfranc	42
5.3.4 Línea 4: Zaragoza-Binéfar	48
5.3.5 Línea 5: Zaragoza-Nonaspe.....	53
5.3.6 Línea 6: Teruel-Rubielos de Mora.....	58
3.4 Resumen consumos y emisiones	63
6. Estudio de operativa y malla horaria según demanda de viajeros. Simulación.	66
7. Análisis de costes, tanto de la inversión en material móvil como en consumos	76
8. Previsiones de tráfico futuros. Comercialización.	81
8.1 Transporte mixto de mercancías y viajeros por ferrocarril	81

8.2. Transporte turístico por ferrocarril.....	81
9. Conclusiones.....	82
9.ANEXOS	85
9.1 Anexo I Estudio del transporte	85
9.2 Anexo II Información adicional sobre automotores en las 6 líneas.....	95
9.3 Anexo III Ecotransit.....	97
10. Bibliografía	98

0. Introducción

Las líneas ferroviarias en rutas regionales que circulan por Aragón están en peligro de clausura debido a que muchas de ellas tienen baja demanda poblacional. Cada vez la sociedad se ve más abocada a que desaparezca la conexión totalmente entre los pueblos. Y es que, es cierto que hay poca gente y se está utilizando como medio de transporte un ferrocarril que pesa unas 150 toneladas, y que consumirá sus kWh correspondientes, que no serán pocos. Pero ¿qué ocurriría si cierra? Eso significa que la línea lo hará para siempre, y se estará perdiendo la oportunidad de implantar el ferrobús, que es un vehículo ferroviario, pero mucho más ligero. Ya que, existiendo vía ferroviaria se plantea como la mejor solución.

1. Caracterización de las líneas regionales en el entorno de Zaragoza

1.1 Identificación de las líneas regionales que salen de Zaragoza

En España existen un total de seis líneas regionales en el entorno de Zaragoza. Tomando como origen Zaragoza, y por otro lado teniendo en cuenta que el objeto de análisis de este trabajo se centra en la comunidad autónoma de Aragón, se toman como destino, por tanto, aquellas localidades, dentro de cada línea correspondiente, que sean la última localidad perteneciente a dicha comunidad autónoma, es decir, cuya siguiente parada sería una ciudad que se encontraría fuera de los límites aragoneses, con lo cual fuera de este estudio.

Dichas líneas son las siguientes.

Línea 1: Zaragoza-Monreal de Ariza

Línea 2: Zaragoza-Gallur

Línea 3: Zaragoza-Canfranc

Línea 4: Zaragoza-Binéfar

Línea 5: Zaragoza-Nonaspe

Línea 6: Zaragoza-Rubielos de Mora

Línea 2: Zaragoza-Gallur

Línea 1: Zaragoza-Monreal de Ariza

Línea 3: Zaragoza-Canfranc

Línea 4: Zaragoza-Binéfar

Línea 5: Zaragoza-Nonaspe

Línea 6: Zaragoza-Rubielos de

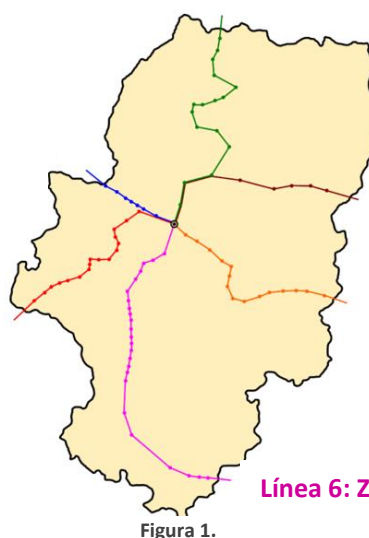


Figura 1.

Figura 1. Mapa de Aragón con las seis líneas regionales en el entorno de Zaragoza. Fuente: Elaboración propia

Por tanto, estas son las líneas de ferrocarril que hay en Aragón, el tema es que solo aquellas que garanticen un mínimo uso de personas se mantendrán, todas las demás estarán condenadas a su cierre. Lo que sucede es que cuando se cierra el uso de ferrocarril a una línea, dicha línea si no se usa la quitan. Y si la quitan, ya nunca volverá. La idea es no cerrar las líneas, ¿cómo? Implantando un ferrobús.

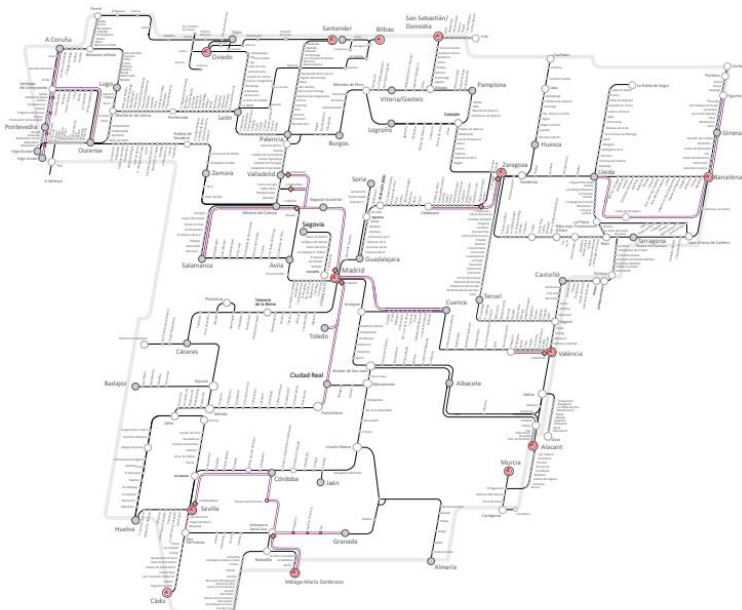


Figura 2. Mapa ferroviario de Adif. Fuente: www.adif.es

El siguiente mapa ferroviario representa todas las líneas ferroviarias presentes en la península ibérica.

Realizando una ampliación a la comunidad autónoma de Aragón, objeto de dicho estudio se pueden observar las paradas a lo largo de cada una de las seis líneas

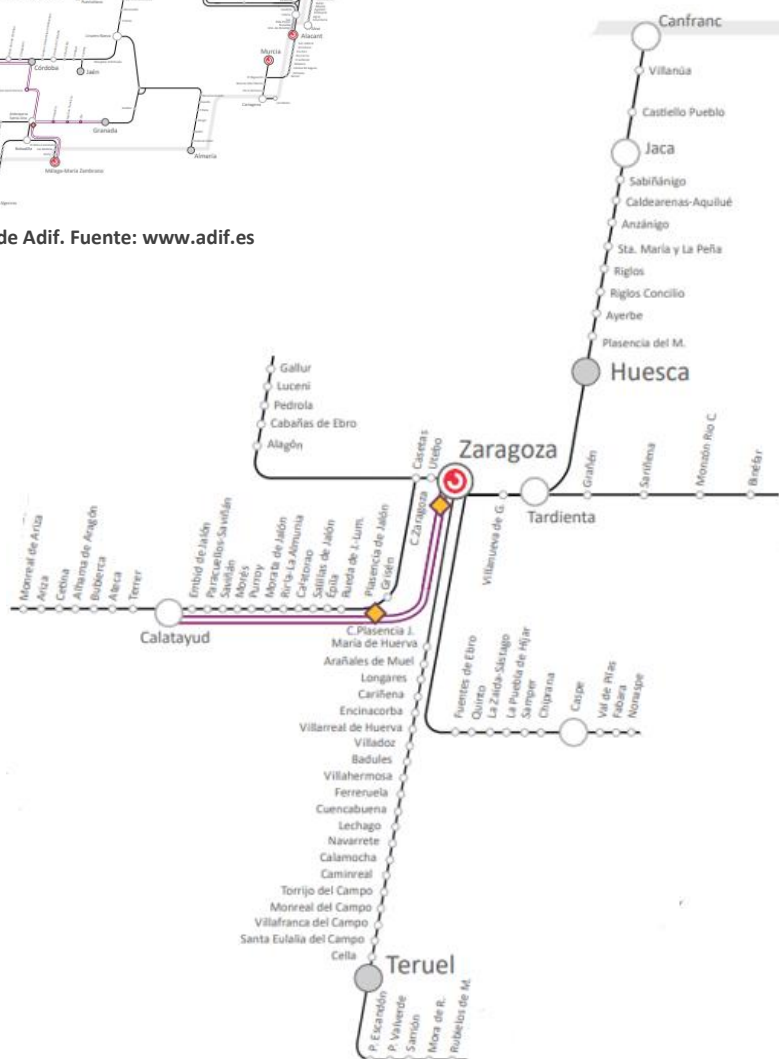


Figura 3. Líneas regionales en Aragón con sus correspondientes estaciones. Fuente: www.adif.es

Por tanto, de acuerdo con la *Figura 3*, las seis líneas que han sido definidas anteriormente tendrían las siguientes paradas entre origen y destino.

Línea 1: Zaragoza-Monreal de Ariza. Con estaciones en Utebo, Casetas, Grisén, Plasencia de Jalón, Rueda de Jalón-Lumpiaque, Épila, Salillas de Jalón, Calatorao, Ricla-La Almunia, Morata de Jalón, Purroy, Morés, Sabiñán, Paracuellos de la Ribera, Embid de Jalón, Calatayud, Terrer, Ateca, Bubierca, Alhama de Aragón, Cetina, Ariza y Monreal de Ariza.

Línea 2: Zaragoza-Gallur. Con estaciones en Utebo, Casetas, Alagón, Cabañas de Ebro, Pedrola, Luceni y Gallur.

Línea 3: Zaragoza-Canfranc. Con estaciones en Villanueva de Gállego, Tardienta, Huesca, Ayerbe, Riglos, Santa María y la Peña, Anzánigo, Caldearenas-Aquilué, Sabiñánigo, Jaca, Castiello-Pueblo, Villanúa-Letranz y Canfranc.

Línea 4: Zaragoza-Binéfar. Con estaciones en Villanueva de Gállego, Tardienta, Grañén, Sariñena, Monzón Río Cinca y Binéfar.

Línea 5: Zaragoza-Nonaspe. Con estaciones en Fuentes de Ebro, Quinto, La Zaida-Sástago, La Puebla de Híjar, Samper de Calanda, Caspe, Val de Pilas, Fabara y Nonaspe.

Línea 6: Zaragoza-Rubielos de Mora. Con estaciones en María de Huerva, Arañales de Muel, Longares, Cariñena, Encinacorba, Villareal de Huerva, Villadoz, Badules, Villahermosa, Ferrerueta, Cuencabuena, Lechago, Navarrete del Río, Calamocha, Caminreal-Fuentes Claras, Torrijo del Campo, Monreal del Campo, Villafranca del Campo, Santa Eulalia del Campo, Cella, Teruel, Puerto Escandón, Puebla de Valverde, Sarrión, Mora de Rubielos Rubielos de Mora

1.2 Características técnicas de dichas líneas regionales

En la Declaración sobre la Red de Adif se definen las características técnicas de todas las líneas,

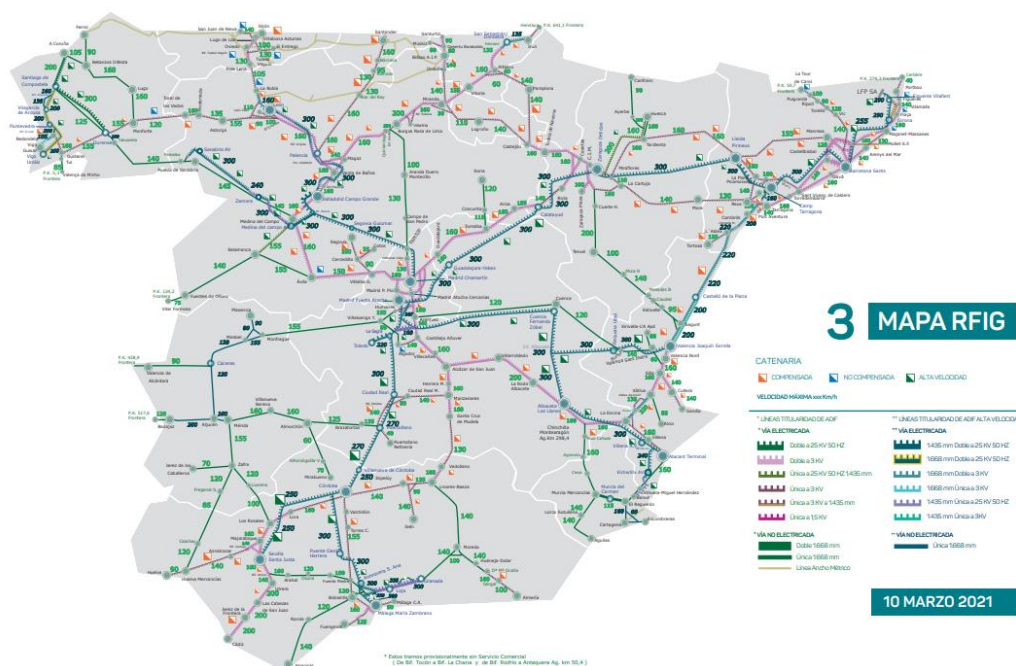


Figura 2. Mapa 3 de la Declaración sobre la Red de Adif. Fuente: <https://www.adif.es/sobre-adif/conoce-adif/declaracion-sobre-la-red>

SISTEMAS DE SEGURIDAD

- ERTMS N1
- LZB
- ASFA
- ERTMS N2
- ERTMS N1 y 2
- TREN TIERRA
- TREN TIERRA Y ASFA
- ATP-EBICAB
- GSMR

BLOQUEOS VÍA DOBLE

- BSL Alta Velocidad
- BCA
- BCA ctc
- BLAD ctc
- BAB ctc
- BAD
- BAB

BLOQUEOS VÍA ÚNICA

- BAU ctc
- BLAU ctc
- BAU
- BLAU
- BT
- BEM
- BCA
- BSL

* LÍNEAS TITULARIDAD DE ADIF

* VÍA ELECTRIFICADA

- Doble a 25 KV 50 HZ
- Doble a 3 KV
- Única a 25 KV 50 HZ 1435 mm
- Única a 15 KV
- Única a 3 KV
- Única a 3 KV 1435 mm

* VÍA NO ELECTRIFICADA

- Doble 1668 mm
- Única 1668 mm
- Línea Ancho Métrico

** LÍNEAS TITULARIDAD DE ADIF ALTA VELOCIDAD

** VÍA ELECTRIFICADA

- 1435 mm Doble a 25 KV 50 HZ
- 1668 mm Doble a 25 KV 50 HZ
- 1668 mm Doble a 3 KV
- 1668 mm Única a 3 KV
- 1435 mm Única a 25 KV 50 HZ
- 1435 mm Única a 3 KV

** VÍA NO ELECTRIFICADA

- Única 1668 mm

Figura 3. Leyenda perteneciente a la Figura 4. Fuente: <https://www.adif.es/sobre-adif/conoce-adif/declaracion-sobre-la-red>

De nuevo se hace una ampliación a la zona de interés

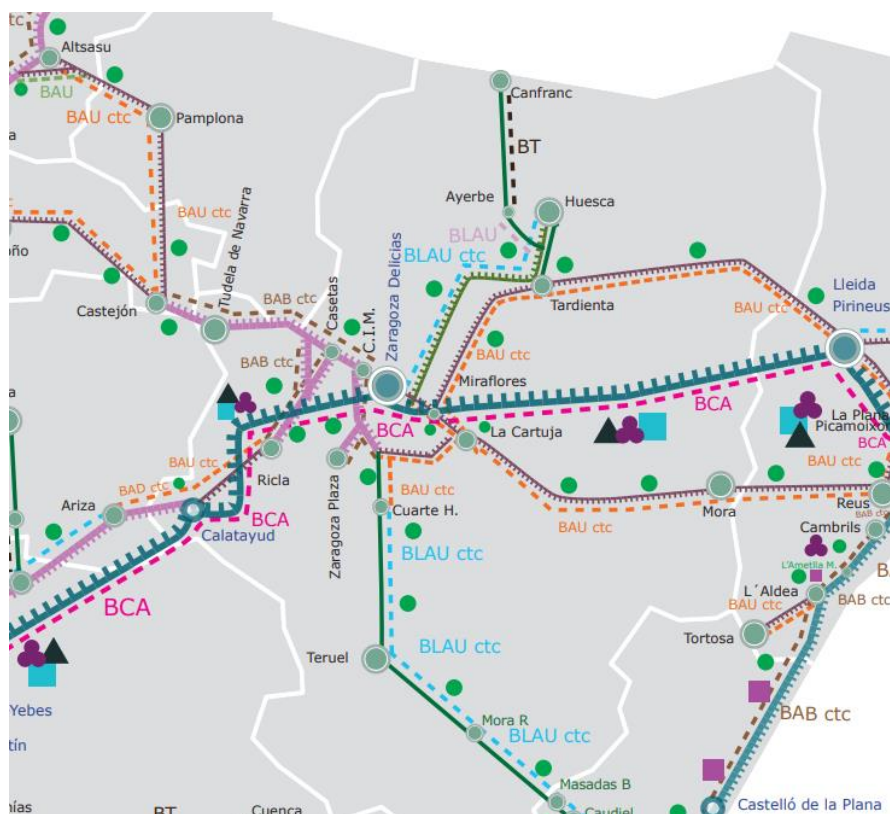


Figura 4 Caracterización técnica de las líneas. Fuente: <https://www.adif.es/sobre-adif/conoce-adif/declaracion-sobre-la-red>

Por tanto, en base a la *Figura 6* y a la *Figura 5* se puede determinar si las vías de las diferentes líneas son únicas o dobles, y si están electrificadas o no.

Las líneas 1 (Zaragoza-Monreal de Ariza) y 2 (Zaragoza-Gallur) son de vía doble y están electrificadas en todo su recorrido. La línea 3 (Zaragoza-Canfranc) es de vía única en todo su recorrido, y está electrificada únicamente desde Zaragoza hasta Huesca. Las líneas 4 (Zaragoza-Binéfar) y 5 (Zaragoza-Nonaspe) son de vía única y están electrificadas en todo su recorrido. Y, por último, la línea 6 (Zaragoza-Rubielos de Mora), es de vía única y no está electrificada.

1.3 Demanda poblacional

La idea es sacar el potencial de gente que vive en el corredor de cada línea.

Para cada línea se realiza un estudio de los núcleos poblacionales alrededor de la línea en cuestión, y se realiza el sumatorio de habitantes en cada población afectada. A dicho sumatorio se le descontará el valor de población en Zaragoza y se obtendrá una variación de demandantes en dicha línea. Procedimiento detallado en Anexo I.



Figura 5: Densidad poblacional en cada línea. Fuente: elaboración propia

Línea 4: $\Delta = 45925$, ese es el potencial de gente que vive en ese corredor, que es muy poco, y menos usuarios directos aún hay en las líneas 2 y 5. Los valores más reseñables para colocar ferrobús se convierten en las líneas 2, 4 y 5, además de los tramos desde Huesca a Canfranc, Teruel a Rubielos de Mora, y Calatayud a Monreal de Ariza.

Se hacen tramos de ferrobús desde Huesca hasta Canfranc, desde Teruel hasta Rubielos de Mora y desde Calatayud hasta Monreal de Ariza porque hay una terminal en Huesca, Teruel y Calatayud. Y se trata de terminales importantes de primera categoría, terminales matrices (las principales). El ferrobús necesita una serie de mantenimientos, por lo tanto, lo lógico es que donde hay estaciones grandes donde puede haber capacidad de mantenimiento, dichas estaciones sean la base.

Asimismo, se comprueba que tanto el servicio que va por Zaragoza-Huesca, Zaragoza-Teruel y Zaragoza-Calatayud vaya perfectamente definido por trenes regulares.

Es decir, que haya servicio alternativo además de capacidad de mantenimiento o de aparcamiento de esos vehículos.

LUNES A VIERNES

CLASE TREN	Origen	Destino	Hora Salida	Hora Llegada	Duración (min)
REGIONAL	Zaragoza	Huesca	6:33	7:25	52
REGIONAL	Zaragoza	Huesca	8:55	9:46	51
REGIONAL	Zaragoza	Huesca	14:42	15:28	46
REGIONAL	Zaragoza	Huesca	15:53	16:44	51
REGIONAL	Zaragoza	Huesca	19:11	20:03	52
AVE	Zaragoza	Huesca	20:33	21:18	45
REGIONAL	Zaragoza	Huesca	21:48	22:38	50
REGIONAL	Huesca	Zaragoza	6:23	7:38	49
REGIONAL	Huesca	Zaragoza	7:38	8:28	50

AVE	Huesca	Zaragoza	8:15	8:55	40
REGIONAL	Huesca	Zaragoza	8:50	9:45	55
REGIONAL	Huesca	Zaragoza	16:02	16:58	56
REGIONAL	Huesca	Zaragoza	18:38	19:36	58
REGIONAL	Huesca	Zaragoza	20:37	21:33	56

**SÁBADOS Y
DOMINGOS**

CLASE TREN	Origen	Destino	Hora Salida	Hora llegada	Duración (min)
REGIONAL	Zaragoza	Huesca	6:57	7:50	53
REGIONAL	Zaragoza	Huesca	14:42	15:28	46
REGIONAL	Zaragoza	Huesca	15:53	16:44	51
REGIONAL	Zaragoza	Huesca	19:11	20:03	52
AVE	Zaragoza	Huesca	20:33	21:18	45
REGIONAL	Zaragoza	Huesca	21:48	9:07	50
AVE	Huesca	Zaragoza	8:15	8:55	40
REGIONAL	Huesca	Zaragoza	8:33	9:28	55
REGIONAL	Huesca	Zaragoza	11:38	12:29	51
REGIONAL	Huesca	Zaragoza	16:02	16:58	56
REGIONAL	Huesca	Zaragoza	18:38	19:36	58
REGIONAL	Huesca	Zaragoza	20:37	21:33	58

Queda comprobado que el servicio que va desde Zaragoza hasta Huesca está perfectamente definido.

**LUNES A
DOMINGO**

CLASE TREN	Origen	Destino	Hora Salida	Hora llegada	Duración (h)
MD	ZARAGOZA	TERUEL	8:15	10:47	2,53
MD	ZARAGOZA	TERUEL	11:20	13:35	2,25
MD	ZARAGOZA	TERUEL	17:25	19:59	2,57
REGIONAL	ZARAGOZA	TERUEL	19:48	22:21	2,55
REGIONAL	TERUEL	ZARAGOZA	6:40	9:00	2,33
MD	TERUEL	ZARAGOZA	12:15	14:31	2,27
MD	TERUEL	ZARAGOZA	14:51	17:01	2,17
MD	TERUEL	ZARAGOZA	18:50	21:18	2,47

También queda comprobado que el servicio que va desde Zaragoza hasta Teruel está perfectamente definido.

**LUNES A
DOMINGO**

CLASE TREN	Origen	Destino	Hora Salida	Hora llegada	Duración (h)
AVANT	ZARAGOZA	CALATAYUD	7:36	8:00	0,4
AVE	ZARAGOZA	CALATAYUD	7:36	8:00	0,4
MD-AVE	ZARAGOZA	CALATAYUD	8:48	10:09	1,35
REGIONAL	ZARAGOZA	CALATAYUD	8:57	10:21	1,4
AVE	ZARAGOZA	CALATAYUD	9:00	9:24	0,4
AVE	ZARAGOZA	CALATAYUD	9:45	10:09	0,4
AVLO	ZARAGOZA	CALATAYUD	11:45	12:09	0,4
REG.EXP.	ZARAGOZA	CALATAYUD	14:09	15:08	0,983
AVANT	ZARAGOZA	CALATAYUD	15:45	16:09	0,4
AVE	ZARAGOZA	CALATAYUD	15:45	16:09	0,4
REGIONAL	ZARAGOZA	CALATAYUD	16:20	17:42	1,37
AVANT	ZARAGOZA	CALATAYUD	17:45	18:09	0,4
AVE	ZARAGOZA	CALATAYUD	17:45	18:09	0,4
AVANT	ZARAGOZA	CALATAYUD	19:45	20:09	0,4
AVE	ZARAGOZA	CALATAYUD	19:45	20:09	1,4
REGIONAL	ZARAGOZA	CALATAYUD	20:36	21:57	1,35
REGIONAL	CALATAYUD	ZARAGOZA	9:36	11:06	1,5
MD-MD	CALATAYUD	ZARAGOZA	9:36	11:23	1,78
REG.EXP.	CALATAYUD	ZARAGOZA	12:21	13:25	1,07
AVANT	CALATAYUD	ZARAGOZA	12:26	12:51	0,42
AVE	CALATAYUD	ZARAGOZA	12:26	12:51	0,42
AVANT	CALATAYUD	ZARAGOZA	16:26	16:51	0,42
AVE	CALATAYUD	ZARAGOZA	16:26	16:51	1,42
REGIONAL	CALATAYUD	ZARAGOZA	18:59	20:11	1,2
AVANT	CALATAYUD	ZARAGOZA	20:06	20:30	0,4
AVE	CALATAYUD	ZARAGOZA	20:06	20:30	1,4
AVLO	CALATAYUD	ZARAGOZA	20:30	20:55	0,42
AVE	CALATAYUD	ZARAGOZA	21:40	22:05	0,42

Por último, queda también comprobado que el servicio que va desde Zaragoza hasta Calatayud está perfectamente definido.

Es decir, en dichos tramos en los que se ha decidido no implementar el ferrobús es porque hay vías de alta capacidad, hay otros trenes que lo hacen mejor.

2. Características técnicas de unidades ferroviarias ligeras para viajeros

El ferrobús es muy popular en países como Francia, Alemania, Inglaterra o Japón, y se denomina de diferentes formas según dicho país de procedencia: «Ferrobús», «autorail», «railbus» o «Schienenbus»

2.1 Modelo japonés

Se trata de un vehículo dual, puesto que posee cuatro llantas de goma para ir por carretera, pero a su vez también tiene cuatro ruedas de acero para ir por rieles. El cambio de un sistema a otro apenas dura unos quince segundos y viene motivado por un sistema hidráulico que eleva las llantas neumáticas y coloca las ruedas de acero sobre los rieles.

Tienen una capacidad de transporte de 25 pasajeros y circulan por unas rutas en las que un tercio de ellas no transportan más de 500 personas. Precisamente lo que se ha conseguido con este vehículo es cambiar el servicio en líneas infrautilizadas. a vehículos más pequeños en lugar de hundirlo.



Figura 6: Ferrobús dual, modelo japonés. Fuente: <https://www.wired.com/2008/05/half-bus-half-t/>

En conclusión, este modelo presenta la versatilidad de un autobús, la velocidad de un tren ligero y una economía en cuanto a combustible mejor que cualquiera de los dos.



Figura 7: Ferrobús dual, modelo japonés. Fuente: <https://www.wired.com/2008/05/half-bus-half-t/>

2.2 Modelo alemán



Figura 8: Ferrobús de dos pisos, modelo alemán. Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/Doppelstockschienenbus_der_DWE_Baureihe_670.JPG

La *Figura 10* muestra el modelo DB clase 670, modelo alemán de dos pisos, con dos ejes. Su construcción interior consta de acero ligero, en cambio la cubierta exterior está formada por paneles galvanizados pegados, y los extremos de la cabina están fabricados de laminado de fibra de vidrio. Tiene dos puertas correderas de acceso y cuenta con una escalera de caracol para la ascensión al piso superior.

2.3 Modelo inglés

Reino Unido está demandando un alto grado de competitividad en términos de inversión y costos operativos del transporte público. Las ideas y prototipos de material rodante ligero, de bajas emisiones y barato para operar en líneas ferroviarias de baja densidad existentes, y para nuevos sistemas de tranvía para operar en ciudades más pequeñas han estado presentes durante

décadas. Un pequeño tren lanzadera regional ha estado operando desde 2009 con tres vagones cortos Clase 139 en una línea de 1,3 km en los suburbios de Birmingham.



Figura 9. Trnavía ligero 'City Class'. Fuente: <https://www.urban-transport-magazine.com/wp-content/uploads/2020/08/CityClassTramTest1998-2000.jpg>

Un tranvía muy ligero, *Figura 11*, el tranvía 'City Class' de 29 m de largo y 750 kg/m de peso.

El Very Light Rail National Innovation Center (VLRNIC), un taller de ensamblaje de prototipos para material rodante y elementos de infraestructura, que incluye una vía de prueba,

laboratorios de investigación e instalaciones de capacitación, da nuevo impulso a los proyectos de trenes ligeros y tranvías.

El automotor "Revolution", se muestra en la *Figura 12*, tiene de 18 m de largo y pesa menos de 1 tonelada por metro.



Figura 10. Automotor 'Revolution'. Fuente: https://www.urban-transport-magazine.com/wp-content/uploads/2020/08/1580463810_railway-gazette-train.jpg

El vehículo de tranvía "Shuttle" muy ligero, *Figura 13*, de longitud inferior al anterior, tiene 11 m de largo y es igualmente ligero y económico.



Figura 11. Tranvía 'Shuttle'. Fuente: <https://www.urban-transport-magazine.com/wp-content/uploads/2020/08/Coventry-Shuttle-Image.png>

2.4 Modelo francés

En la *Figura 14* se puede observar el modelo de ferrobús francés, X 73500 de la SNCF.



Figura 12. Ferrobús francés. Fuente: <https://www.flickr.com/photos/tgveurofrance/19919833075>

Los X 73500, son vagones de una sola caja, apodados A TER, y que circulan principalmente en Francia. Sus dos motores son diésel de tracción, tiene una capacidad de 61 plazas y alcanza una velocidad máxima de 140km/h. Además, se pueden acoplar en múltiples unidades (UM) hasta 3 elementos. Se han construido 318 vagones. Su fabricante es Alstom.

3. Determinación de las prestaciones necesarias de la unidad de acuerdo con las líneas

Se pretende, en cuanto a los modelos anteriormente presentados, cuál elegir como modelo para el ferrobús que se quiere implantar en las líneas regionales de Aragón.

Los siguientes datos han sido proporcionados por un maquinista de Renfe, se indica el valor medio de pasajeros subidos en el tren durante los tramos en los que se ha decidido poner ferrobús:

L1_ Calatayud-Monreal de Ariza. L a V = 10. S D F = 2

L2_ Zaragoza-Gallur. L a V = 15. S D F = 5

L3_ Huesca-Canfranc. L a V = 6-7. S D F = 30

L4_ Zaragoza-Binefar. L a V = 15. S D F = 4

L5_ Zaragoza-Nonaspe. Diario = 9

L6_ Teruel-Rubielos de Mora. Diario = 5-7

Donde L a V: Lunes a Viernes, y S D F = Sábados, Domingos y Festivos.

Por un lado, el modelo japonés es demasiado pequeño, para 20 plazas. En el otro extremo, el modelo alemán de dos pisos tiene demasiadas plazas, así como el modelo inglés tipo lanzadera para aeropuertos que podría contar con 200 plazas.

Lo más parecido a lo que se puede hacer en España es el TER, el modelo francés, de combustión.



El TER, es exactamente lo que haría falta en Aragón. Es decir, si van a ir 5-30 pasajeros aquí caben 61, con lo cual este modelo cubre perfectamente las necesidades, y si un día hubiese más demanda porque por ejemplo es verano, pueden unirse vagones.

Figura 13. TER. Fuente: <http://tgveurofrance.com/>

Algunas de sus características son:

Características técnicas	
Calibre	Estándar (1435cm)
Combustible	diésel
Motor térmico	2 motores MAND 2866 LUH 21 12 L 6 cilindros
Transmisión	Sistema hidráulico
Potencia continua	514 kW

Capacidad de combustible	1.000L
Masa en servicio	50 t
Longitud	28.900 m
Ancho	2.900 m
Altura	3.700 m
Batalla	17.500 m
Distancia entre ejes del bogie	2.100 m
Diámetro de la rueda	840 mm
Asientos	61 plazas
Velocidad máxima	140 km/h

En conclusión, el modelo francés, es moderno y el más versátil puesto que el diésel sirve para cualquier vía, tanto para las líneas electrificadas como no. Si se eligiese un modelo eléctrico tiene que ser la vía electrificada, con lo cual por ejemplo en la línea de Teruel y de Huesca ya no se podrían llevar.

4. Análisis de alternativas de sistemas de tracción

Actualmente, y dentro de los vehículos ferroviarios con alimentación alternativa (XMU), se encuentran los que tienen pila de combustible de hidrógeno (H₂), y los que emplean baterías. Estos últimos tienen una potencia más limitada, por el peso de las baterías, y se emplean para recorrer tramos cortos no electrificados, mientras que los de hidrógeno están sustituyendo a los trenes diésel actuales. Tanto pilas de combustible de hidrógeno como baterías son iniciativas para la descarbonización del transporte.

El propósito es utilizar energía verde allí donde no se puede obtener directamente; por ejemplo: en un tren que circula por una línea no electrificada.

El modelo elegido de ferrobús, el TER, es diésel, pero quizás algún día ese diésel podría ser convertido a hidrógeno o con batería.

El uso de hidrógeno producido a partir de gas natural para propulsar vehículos ferroviarios reduce las emisiones de CO₂ en aproximadamente un 40% comparado con el diésel, y genera costos de combustible muy similares.



Figura 14: Alstom Coradia iLint, pilas de H₂.

Fuente: <https://www.geotren.es/blog/wp-content/uploads/2022/09/Alstom-Coradia-iLint-pilas-de-H2.jpg>

Los trenes de H₂ se complementan con unas baterías que se cargan mediante la celda de combustible (pila de hidrógeno) y, durante la frenada, gracias al freno regenerativo. Sirven para almacenar la energía no utilizada y para aumentar la potencia según la velocidad y la aceleración, ya que las celdas de combustible tienden a ser lentas en su respuesta a los cambios en la potencia demandada por lo que se necesitan más baterías en recorridos montañosos.

5. Comparativa de consumos y emisiones con transporte terrestre por carretera

Se quiere implantar un sistema ferroviario que sustituya a otro que ya se tiene, para ello tiene que ser comparable. Se hará un estudio para el mismo recorrido y las mismas demandas, así como para las mismas velocidades (excepto en algunos tramos donde el automotor alcanzará velocidad máxima ligeramente superior a la del ferrobús). Para el autobús el origen y destino de la línea será el mismo pero el trazado al ser por carretera será diferente.

Por tanto, se van a comparar tres sistemas: el ferrobús, el automotor y el autobús.

Para el caso del ferrobús se estudia con el modelo seleccionado, que es el TER, descrito en el *capítulo 3*.

Se obtendrá perfil y velocidades de acuerdo con las prestaciones de cada vehículo.

Para ferrobús y automotor se dispone de las velocidades máximas en cada línea proporcionadas por Renfe, correspondientes a cada punto kilométrico. Para el autobús no se conocen los datos exactos de velocidades, así que se hará una suposición.

Por otro lado, para el caso del automotor, se deben tener en cuenta los diferentes modelos de automotores presentes en las diferentes líneas.

5.1 Modelos de automotor en las diferentes líneas

S-448 (Línea 1: Calatayud-Monreal de Ariza; Línea 4: Zaragoza-Binéfar; Línea 5: Zaragoza-Nonaspe)



Peso=151T

Plazas=238

Velocidad máxima=160km/h

Potencia= 1160kW

Longitud= 78,58m

Figura 15. S-448. Fuente:https://www.renfe.com/es/va/grupo-renfe/grupo-renfe/flota-de-trenes/r-448/_jcr_content/root/rfslidcardsexperie/rfcardexperience-0.coreimg.jpeg/1658994968399/448-01-700.jpeg

ancho =	2,95 m
alto =	4,18 m
S =	10,48 m²

S-470 (Línea 2: Zaragoza-Gallur)



Peso=156T
Pasajeros=238
Velocidad máxima=140km/h
Potencia =1116kW
Longitud=79,59m

Figura 16. S-470. Fuente: https://www.renfe.com/es/va/grupo-renfe/grupo-renfe/flota-de-trenes/r-470/_jcr_content/root/rfslidcardsexperie/rfcardexperience-0.coreimg.jpeg/1658994953712/470-01-700.jpeg

ancho =	2,9 m
alto =	4,26 m
S =	10,50 m²

S-594 (Línea 3: Huesca-Canfranc)



Peso=90,465T
Pasajeros=126
Velocidad máxima=160km/h
Potencia=1200kW
Longitud=47,75m

Figura 17. S-594. Fuente: https://www.renfe.com/es/va/grupo-renfe/grupo-renfe/flota-de-trenes/r-594/_jcr_content/root/responsivegrid_300848130/rfslidcardsexperie/item_1.coreimg.100.2048.jpeg/1658994937488/594-00-700.jpeg

ancho =	2,937 m
alto =	3,888 m
S =	9,70m²

S-599(Línea 6: Teruel-Rubielos de Mora)



Peso=157T

Pasajeros=185

Velocidad máxima=160km/h

Potencia=1400kW

Longitud=75,98m

ancho =	2,94 m
alto =	4,30 m
S =	10,75 m ²

5.2 Modelo de autobús

Y por último para el autobús, se ha seleccionado el modelo siguiente: Irizar i6 123x3,2m, tara del vehículo 13T y capacidad para 60 pasajeros, y una potencia entorno a los 450CV.



[Irizar](#)
[Autobuses y autocares](#)
[Venta y Postventa](#)
[Actualidad](#)
[Zona Cliente](#)
[Irizar e-mobility](#)

10,8m x 3,5m
12m x 3,5m
12m x 3,7m
13m x 3,5m
14m x 3,5m
14m x 3,7m
15m x 3,5m
15m x 3,7m



Longitud	12.200mm
Altura	3.731mm
Anchura	2.550mm
Anchura puerta delantera	900mm
Anchura puerta trasera	900mm
Altura libre zona pasillo	2.060mm
Altura primer peldaño	360mm
Peso máximo autorizado	18.000kg-19.000kg

* Esta información puede variar dependiendo del país, el powertrain y la configuración

Figura 20. Modelo irizar i6. Fuente: <https://www.irizar.com/wp-content/uploads/2014/09/i6-int-108-35.jpg>

Powertrain vehículo integral

	MX11 300	MX11 330	MX11 355
Disposición de cilindros	6 cilindros en línea	6 cilindros en línea	6 cilindros en línea
Cilindrada	10,8 l.	10,8 l.	10,8 l.
Válvulas	24V	24V	24V
Alimentación	Common-Rail	Common-Rail	Common-Rail
	Geometría de turbina variable	Geometría de turbina variable	Geometría de turbina variable
Potencia máxima	300 Kw	330 Kw	355 Kw
	408 hp	449 cv	483 cv
	(1.600 rpm)	(1.600 rpm)	(1.600 rpm)
Par máximo	2.100 Nm	2.300 Nm	2.500 Nm
	(900-1.125 rpm)	(900-1.125 rpm)	(900-1.125 rpm)
Cumplimiento emisiones	EURO 6	EURO 6	EURO 6

Figura 18. Modelo irizar i6. Fuente: <https://www.irizar.com/wp-content/uploads/2014/09/i6-int-108-35.jpg>

5.3 Obtención de perfiles, variación de velocidad y consumos de cada una de las líneas

5.3.1 Línea 1: Calatayud-Monreal de Ariza

Obtención de las rutas y alturas en recorrido por ferrocarril

A continuación, se va a mostrar a modo de ejemplo cómo se han obtenido todos los cálculos pertinentes en base a las prestaciones de los vehículos, se va a explicar de manera detallada para la línea 1, es decir, para el resto de las líneas se procedería con la misma metodología de cálculo así que solo se adjuntarán los correspondientes valores numéricos obtenidos.

Para la obtención de las rutas se ha partido de los datos proporcionados por Renfe, donde se presentan los puntos kilométricos de cada ruta, así como su correspondiente velocidad máxima.

		PUNTO	KM	ALTURA (m)	V MÁX (km/h)
CALATAYUD	EST	1	244,7	531	140
TERRER	EST	2	238,1	552	155
		3	232	580	155
ATECA	EST	4	231,4	583	100
BUBIERCA	EST	5	223,7	642	100
		6	223,1	648	100
ALHAMA ARAGON	EST	7	218,4	663	110
CETINA	EST	8	213,6	674	155
ARIZA	EST	9	205	712	155
		10	202,1	719	160
		11	200,8	724	140
MONREAL DE ARIZA	EST	12	200,4	726	160

DIST EN KM (DESDE ESTE PUNTO AL ANTERIOR)	LONGITUD (KM)	PDTE (%)	PDTE (‰)	ALTURAS A CORREGIR	ALTURA CORRECCIÓN (m)	PDTE(‰)
0,000	0	0,318	3,182	0	531,000	3,182
6,600	6,60	0,318	3,182	0	552,000	3,182
6,100	12,70	0,459	4,590	0	580,000	4,590
0,600	13,30	0,500	5,000	0	583,000	5,000
7,700	21,00	0,766	7,662	0	642,000	7,662
0,600	21,60	1,000	10,000	0	648,000	10,000
4,700	26,30	0,319	3,191	0	663,000	3,191
4,800	31,10	0,229	2,292	0	674,000	2,292
8,600	39,70	0,442	4,419	0	712,000	4,419
2,900	42,60	0,241	2,414	0	719,000	2,414
1,300	43,90	0,385	3,846	0	724,000	3,846
0,400	44,30	0,500	5,000	0	726,000	5,000

Donde EST indica que el punto es una estación.

Los datos de altura han sido obtenidos gracias a Google Earth, con el cual se han conseguido dichas alturas correspondientes a los puntos kilométricos de la tabla.

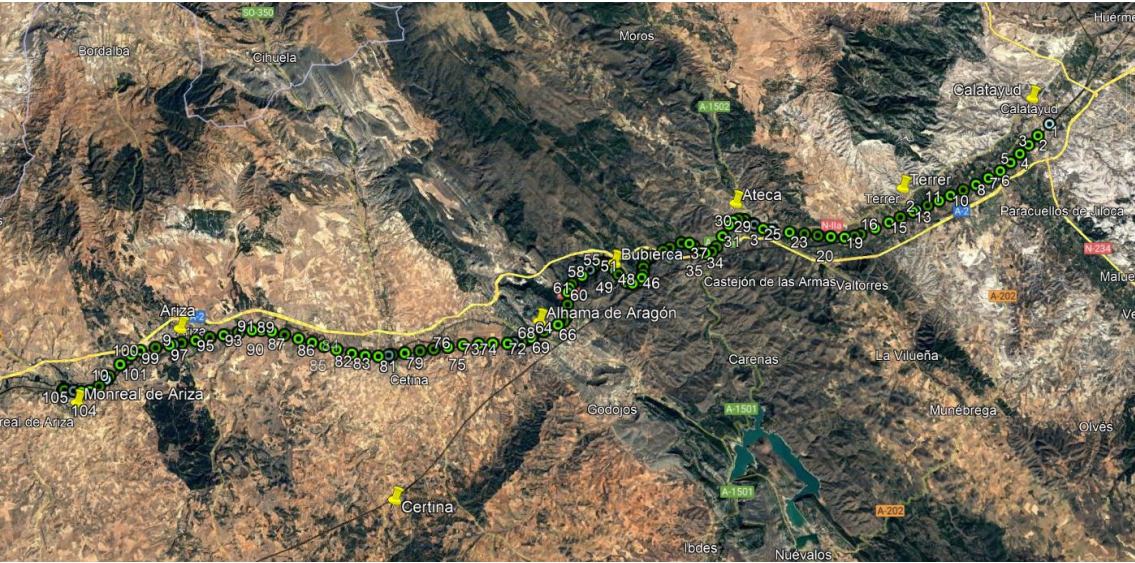


Figura 19. Línea 1 vist en Google Earth. Fuente: Elaboración propia.

Altura(m) en la tabla es el valor leído directamente de *Google Earth*.

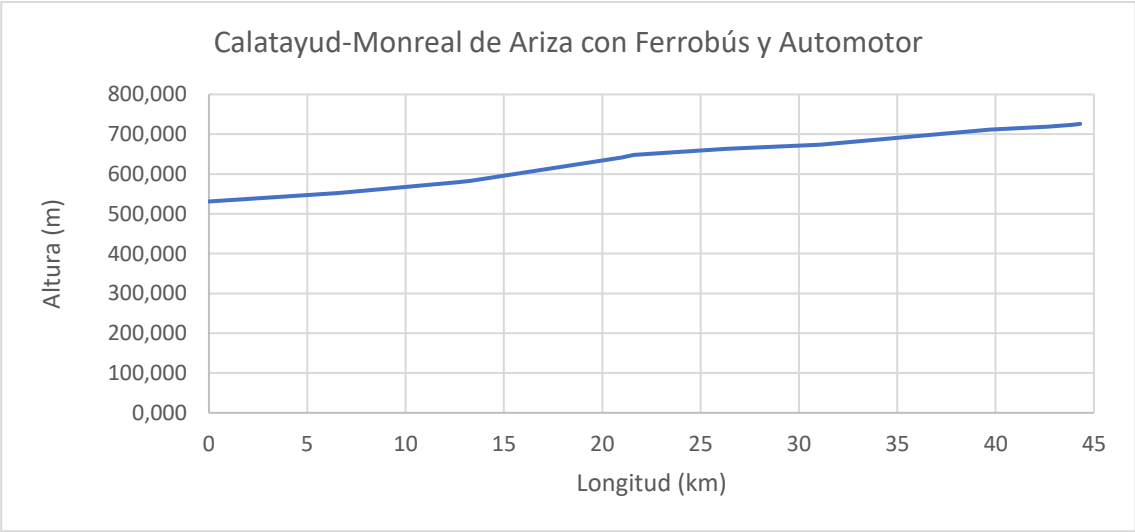


Figura 20. Calatayud, vista en Google Earth. Fuente: Elaboración propia

El cursor se posiciona en el punto número 1 correspondiente a Calatayud, y en la interfaz abajo a la derecha se puede leer el valor de la altura correspondiente a dicho punto.

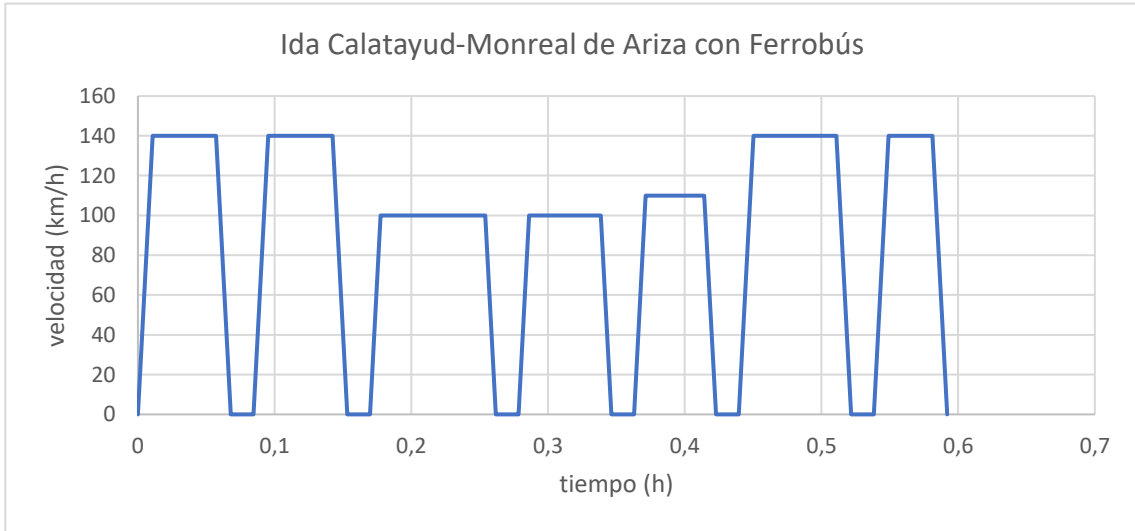
La columna de alturas a corregir se ha hecho en base a que aplique un algoritmo basado en eliminación de alturas erróneas. Se ha propuesto lo siguiente. Si la diferencia de pendiente entre dos

puntos a 500m de distancia difiere en más de 2‰ se deberá corregir dicho valor de altura, interpolando entre puntos consecutivos. Por tanto, el valor correcto de altura se localiza en la columna Altura corrección (m).

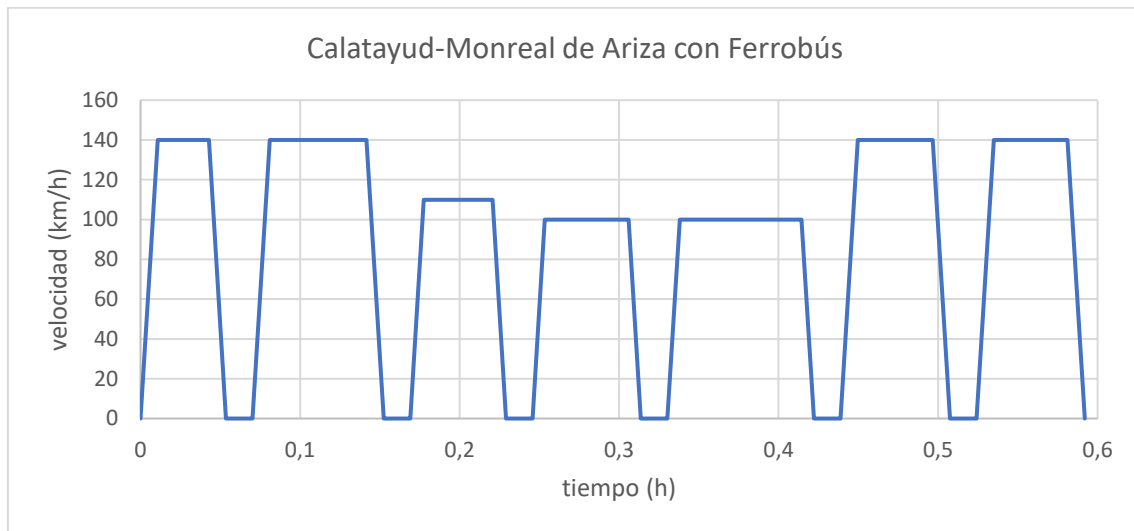


Gráfica 1. Perfil de la línea Calatayud-Monreal de Ariza por ferrocarril. Fuente: elaboración propia

Ahora bien, existe diferenciación entre ferrobús y automotor a la hora de la obtención de la variación de velocidad, ya que el primero alcanza una velocidad máxima de 140km/h mientras que el segundo llega hasta los 160km/h.



Gráfica 2. Variación de velocidad en la ida de la línea Calatayud-Monreal de Ariza con Ferrobús. Fuente: elaboración propia.



Gráfica 3. Variación de velocidad en la vuelta de la línea Calatayud-Monreal de Ariza con Ferrobús. Fuente: elaboración propia.

Se verifica que para el tramo de vuelta la gráfica sería exactamente la misma a modo de espejo, y eso va a ocurrir obviamente con el resto de las líneas, así que por simplicidad se graficará solo para la ida.

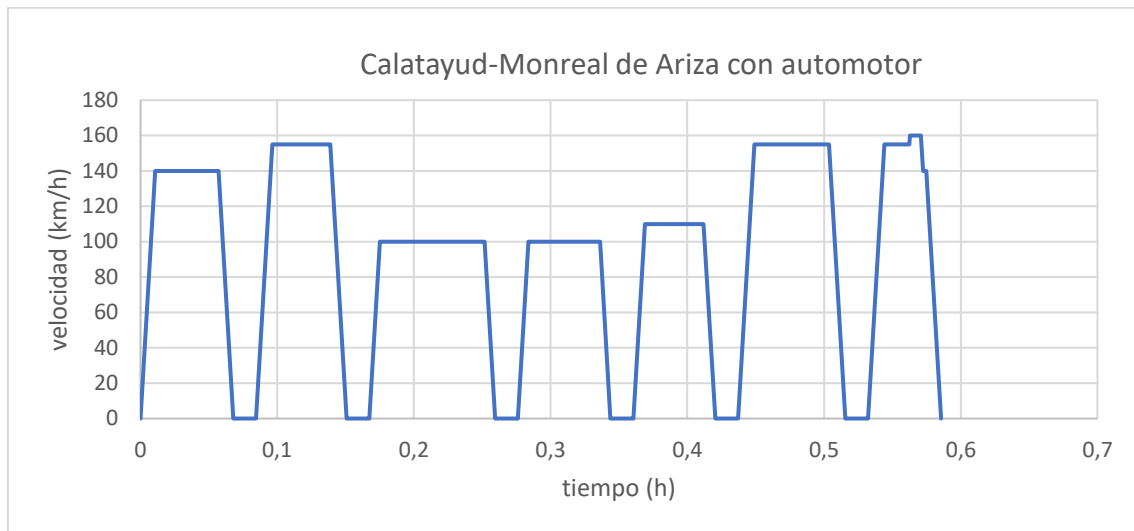
Las Gráficas 1 y 2 se expresan en función de la velocidad (km/h) y el tiempo (h). El procedimiento para calcular el tiempo ha sido el procedimiento que se detalla a continuación.

Se ha obtenido por tramos. El tiempo transcurrido (h), entre dos puntos a la misma velocidad, es directamente, la distancia recorrida entre esos dos puntos (km) entre la velocidad del tramo, que es constante (km/h). Sin embargo, el tiempo transcurrido entre dos tramos a distinta velocidad se calcula como la diferencia en valor absoluto de las velocidades en ambos puntos (km/h) entre la aceleración expresada en km/h^2 .

La aceleración tanto del ferrobús, como del automotor y del autobús es de 1 m/s^2 .

También se ha fijado el tiempo de parada en estación a 1min.

La agrupación de todo ello se refleja en las Gráficas 1 y 2, se ve que se está considerando una aceleración y deceleración ya que se visualizan pendientes en el cambio de velocidad, también se puede observar que permanece en 0 km/h , es decir, detenido, durante 1 min en cada estación.



Gráfica 4. Gráfica 2. Variación de velocidad en la ida de la línea Calatayud-Monreal de Ariza con Automotor. Fuente: elaboración propia.

Se puede apreciar que se llega a alcanzar la velocidad de 160km/h, no así en la gráfica anterior, puesto que, aunque la máxima velocidad del tramo es de 160km/h el automotor la puede alcanzar porque es también su velocidad máxima, sin embargo, el ferrobús puede ir hasta 140km/h puesto su velocidad máxima es esa.

Obtención de las rutas y alturas en recorrido por carretera

Como ya se ha comentado antes, para la ruta por ferrocarril, se conocían los valores de velocidad máxima asociados a los puntos kilométricos en cada tramo, en cambio, no se poseen dichos datos para la ruta por carretera. Por tanto, para obtener la ruta del autobús se ha hecho uso de *My Maps*.

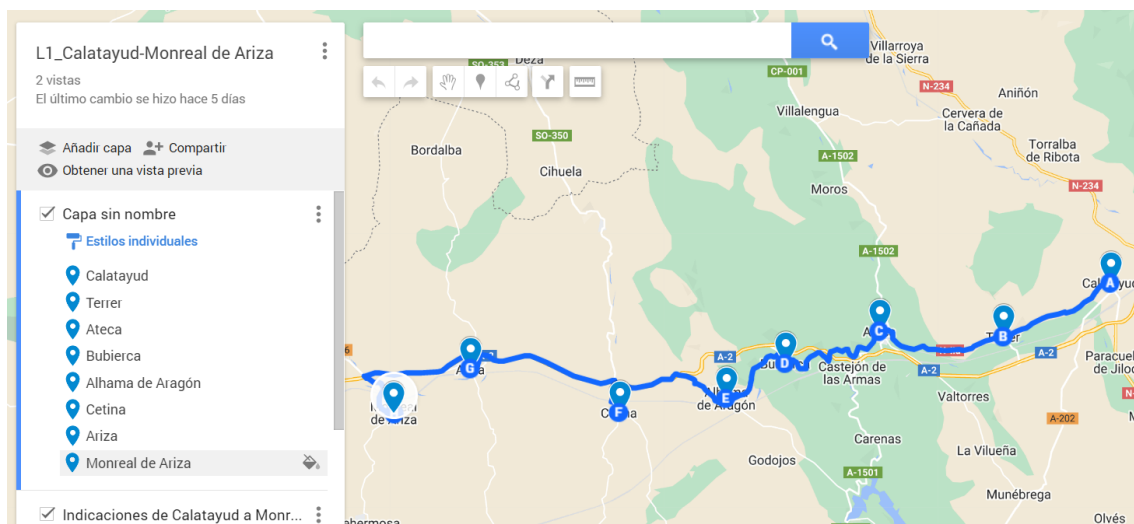


Figura 21. Línea Calatayud-Monreal de Ariza por carretera representada en My Maps. Fuente: elaboración propia

Se han trazado los puntos de interés, es decir, las estaciones y puntos críticos donde va a acelerar y decelerar. Por simplificación de cálculos se ha determinado que el autobús varía desde 0 hasta 60km/h por el núcleo urbano, y hasta 100km/h por carretera.

Generando indicaciones en el propio programa, se obtiene un archivo KML en el cual no aparecen las alturas, para ello se hará uso de la página web gpsvisualizer.com/elevation

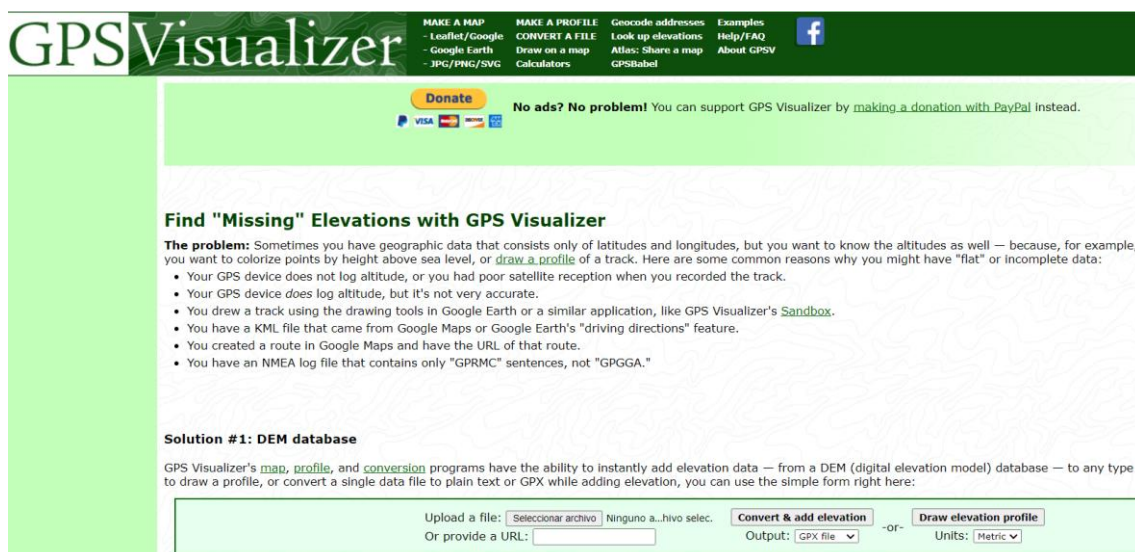


Figura 22. Interfaz de gpsvisualizer para la obtención de alturas. Fuente: gpsvisualizer.com/elevation

Donde seleccionando dicho archivo con extensión KML, lo convierte, añadiendo la elevación, a un archivo GPX, que a su vez podrá ser leído con la aplicación TCX Converter.

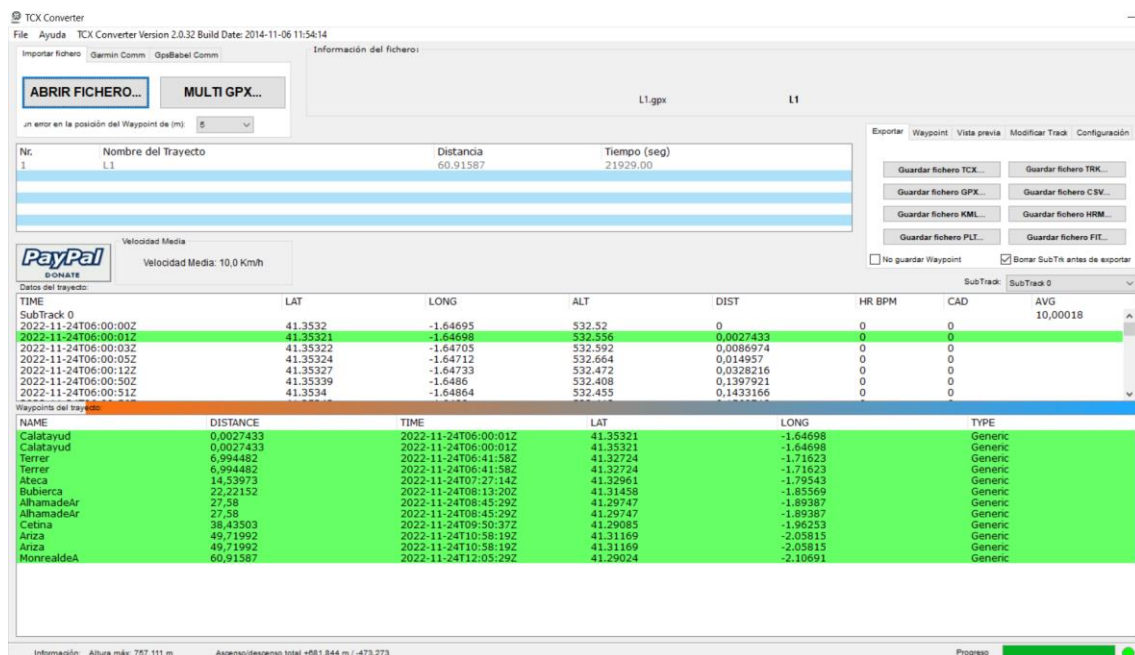


Figura 23. Interfaz de TCX Converter para la línea de Calatayud-Monreal de Ariza. Fuente: elaboración propia

Es recalable mencionar que permite limitar el número de puntos, ya que por defecto genera más de mil. Realizando dicha limitación, se reduce el número de puntos poco a poco desde 100 puntos, hasta 50, pasando por 25 e incluso 20. Se observa que para el número menor número de puntos

comentado se obtiene un perfil similar en forma al obtenido con el resto de número de puntos.

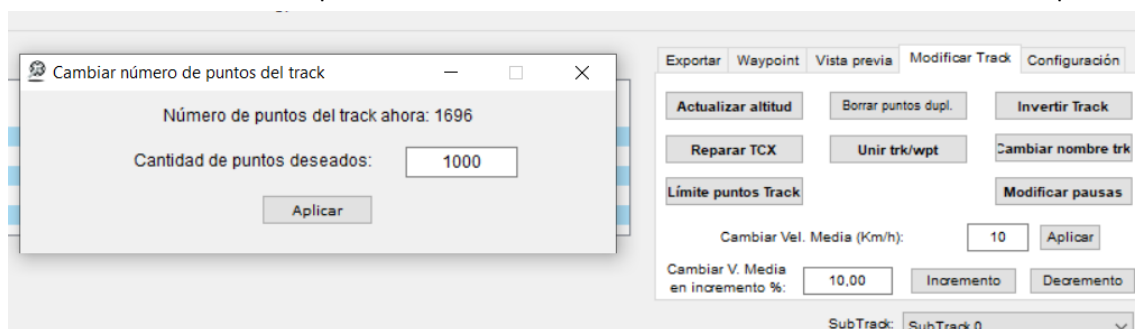
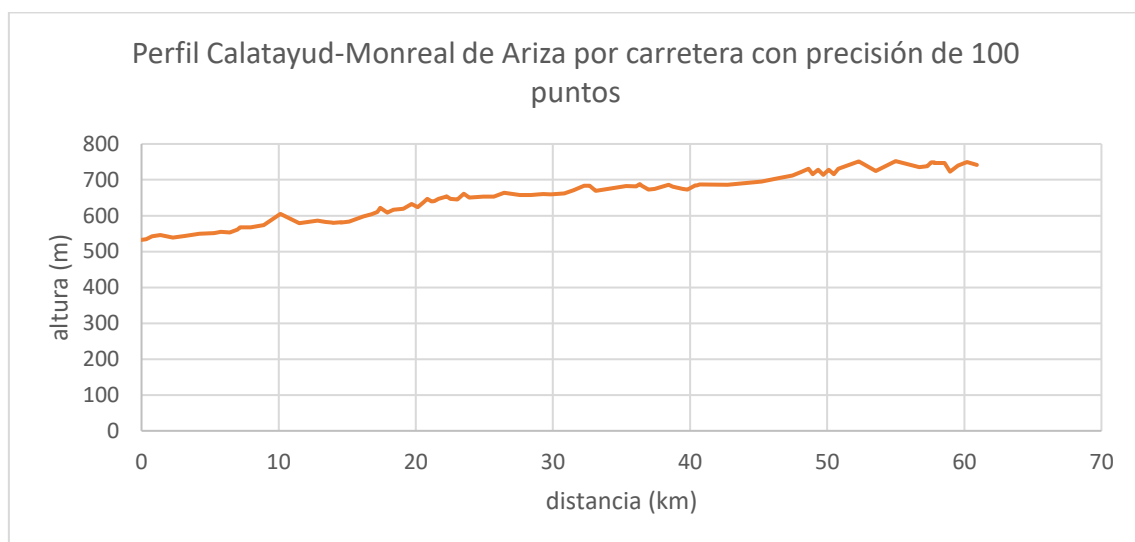


Figura 24. Interfaz de TCX Converter, límite de puntos. Fuente: elaboración propia.

Con lo cual se decide trabajar con el menor número de puntos razonable, ya que además elimina parte de posibles valores de alturas erróneos. Finalmente se obtienen 27 puntos, como se podrá observar en la tabla que se encontrará después de la *Gráfica 5*.



Gráfica 5. Perfil Calatayud-Monreal de Ariza por carretera con precisión de 100 puntos. Fuente: elaboración propia

Comparando la *Gráfica 5*, obtenida con 100 puntos de precisión con la *Grafica 6* que es el perfil definitivo obtenido con 27 puntos, se comprueba lo dicho anteriormente, es decir, se obtiene un perfil muy similar en forma y además elimina parte de posibles valores de alturas erróneos.

A parte de estos puntos, se añadirán o eliminarán si se cree necesario para una obtención más exacta del modelo. Igualmente, si aun así salen alturas que proporcionen pendientes atípicas se interpolará entre puntos consecutivos, igual que en el caso anterior.

	PUNTO	ALTURA(m)	VELOCIDAD (km/h)
CALATAYUD	1	532,556	60
	2	540,340	100
A	3	545,618	10
B	4	556,083	60
TERRER	5	561,146	60

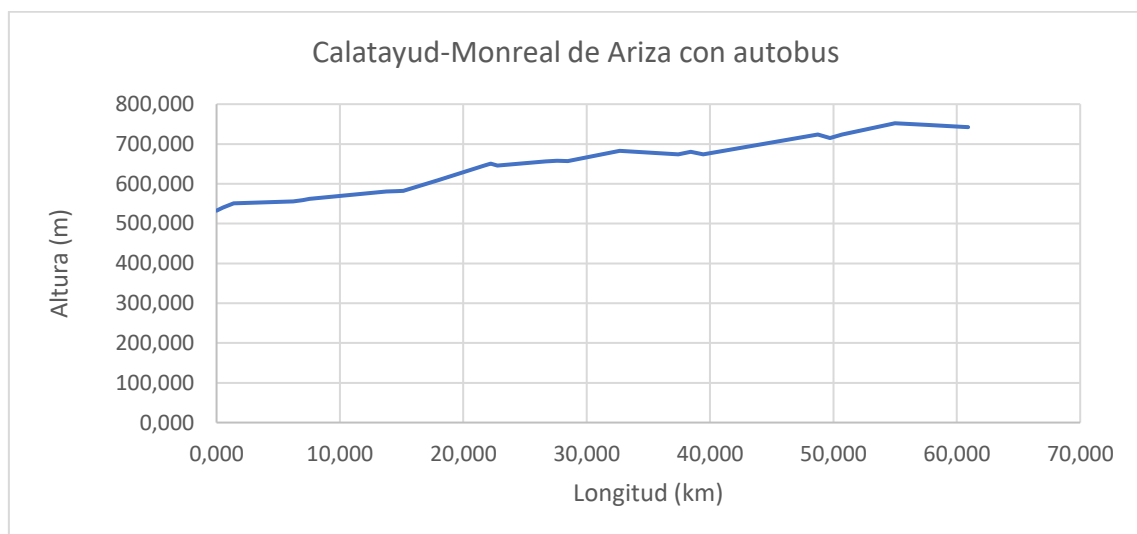
C	6	564,871	100
D	7	580,854	60
ATECA	8	581,596	60
E	9	583,750	100
	10	608,468	100
F	11	645,666	60
BUBIERCA	12	653,008	60
G	13	646,787	100
H	14	656,335	60
ALHAMA	15	658,000	60
I	16	657,000	100
	17	683,168	100
J	18	674,077	60
CETINA	19	686,234	60
K	20	674,077	100
L	21	724,196	60
ARIZA	22	713,479	60
M	23	724,196	100
	24	752,128	100
	25	748,280	100
N	26	743,233	60
MONREAL	27	741,124	60

DIST. EN KM (DESDE ESTE PUNTO AL ANTERIOR)	LONGITUD (km)	PDTE (%)	PDTE (‰)	ALTURAS A CORREGIR	ALTURA CORRECCIÓN (m)	PDTE (‰)
0,000	0,003	1,515	15,15 2	0,000	532,556	15,152
0,514	0,516	1,515	15,15 2	0,000	540,340	15,152
0,858	1,375	0,615	6,149	1,000	551,000	12,419
4,826	6,201	0,217	2,168	0,000	556,083	1,053
0,793	6,994	0,638	6,383	1,000	559,000	3,678
0,534	7,528	0,698	6,976	0,000	562,000	5,618
6,220	13,748	0,257	2,570	0,000	580,854	3,031
0,791	14,540	0,094	0,938	0,000	581,596	0,938
0,598	15,137	0,360	3,605	1,000	582,000	0,676
2,792	17,929	0,885	8,853	0,000	608,468	9,479
3,781	21,710	0,984	9,839	0,000	645,666	9,839
0,512	22,222	1,435	14,35 2	1,000	651,000	10,427
0,543	22,765	1,145	11,44 8	1,000	646,000	9,201
3,908	26,673	0,244	2,443	0,000	656,335	2,644
0,907	27,580	0,184	1,836	0,000	658,000	1,836
0,903	28,483	0,111	1,108	0,000	657,000	1,108

4,197	32,680	0,623	6,234	0,000	683,168	6,234
4,750	37,429	0,191	1,914	0,000	674,077	1,914
1,006	38,435	1,209	12,089	1,000	680,000	5,890
1,018	39,453	1,194	11,943	0,000	674,077	5,819
9,269	48,722	0,541	5,407	0,000	724,196	5,407
0,998	49,720	1,074	10,741	1,000	715,000	9,217
0,998	50,718	1,074	10,741	0,000	724,196	9,217
4,277	54,995	0,653	6,531	0,000	752,128	6,531
2,626	57,620	0,147	1,465	0,000	748,280	1,465
2,781	60,401	0,182	1,815	0,000	743,233	1,815
0,515	60,916	0,410	4,097	1,000	742,000	2,395

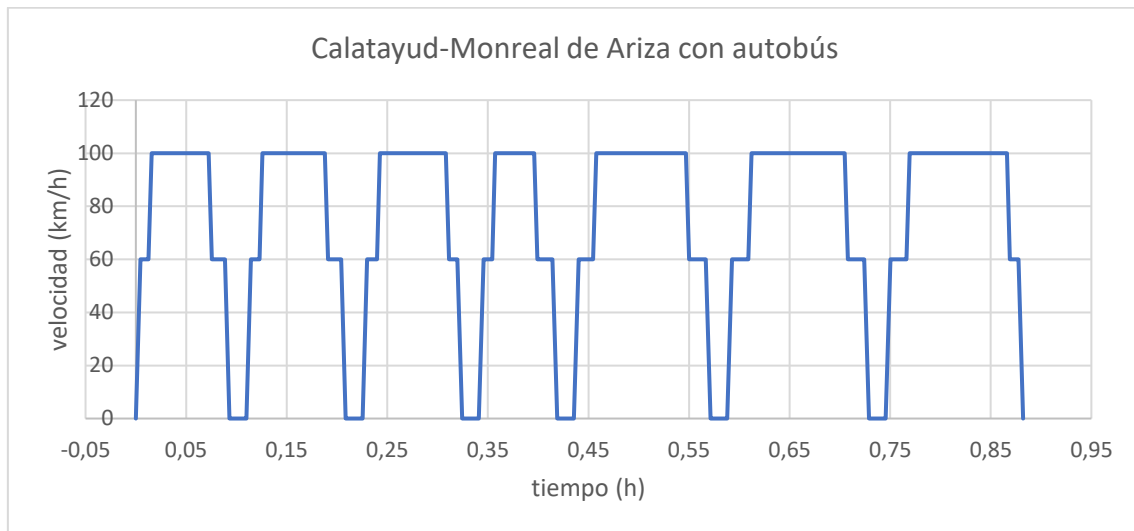
Donde los puntos sin nombre son puntos que ayudan a construir y definir el perfil, y los puntos cuyo nombre son vocales son puntos de cambio de velocidad.

De nuevo, la columna Alturas corrección (m) es el valor real, sin errores.



Gráfica 6. Perfil Calatayud-Monreal de Ariza por carretera. Fuente: elaboración propia.

Se observa que en forma es bastante parecido al perfil obtenido por ferrocarril, sin embargo, en ferrocarril varía menos la pendiente. Por lo general los recorridos de tren no suelen tener tanta variación como la carretera. En este caso en carretera se observa una pendiente máxima de 15%, frente a una máxima de 10% en el mismo tramo por ferrocarril.



Gráfica 7. Variación de velocidad en la línea Calatayud-Monreal de Ariza por carretera, en la ida. Fuente: elaboración propia

Se quiere comparar prestaciones y ver el consumo de cada uno de los vehículos (de nuevo se sigue explicando la metodología seguida en detalle en base a la Línea Calatayud-Teruel)

Para ello, se calculan las resistencias al avance, es decir, tanto la resistencia a la rodadura como la resistencia aerodinámica, (la resistencia a la rodadura se tiene en cuenta siempre pero siempre es el mismo valor).

$R_r = \frac{\text{masa en orden de marcha}}{\text{coeficiente de rodadura}}$, resistencia de rodadura. El coeficiente de rodadura vale 0,002 por kg en el caso del ferrobús y automotor (contacto rueda carril), y 0,03 por kg en el caso del autobús, es decir, para el autobús hay que considerar coeficiente de rodadura del neumático, y eso aumenta aproximadamente un orden de magnitud el valor del coeficiente.

La masa en orden de marcha será la tara del vehículo más el número de pasajeros por el peso promedio de una persona (75kg).

$R_a = \frac{((\frac{v_{anterior} + v_{actual}}{2})^2 \cdot C_x \cdot S)}{16}$, donde C_x es el coeficiente aerodinámico, y vale 0,5 en el caso del ferrobús y automotor, y 0,35 en el caso del autobús.

Para la resistencia aerodinámica, la superficie es diferente para los tres vehículos, debido a que tienen dimensiones distintas de ancho y alto. Además, el coeficiente aerodinámico en un autobús es más pequeño porque tiene la forma más aerodinámica que un ferrobús.

La resistencia a las curvas se desprecia. Si la curva es muy pronunciada el vehículo va a bajar mucho la velocidad (eso sí va a ser reflejado en las tablas de velocidades) pero va a haber mucho roce de las pestañas, entonces habría que tener en cuenta la resistencia a la curva adicional. Sin embargo, se están analizando vehículos cortos, como el ferrobús (28,9m de longitud), el autobús (12,12m) y automotor (desde 47,50m el modelo más corto, hasta 79,59m el más largo). Además, la curvatura a las curvas se tiene en cuenta cuando se habla de composiciones de más de 350m, por ejemplo, en el AVE, o un tren de mercancías, o de larga distancia, porque en las curvas de ferrocarril, el radio

mínimo es de 300m. Con ese radio de 300m que sería la curva más cerrada, solamente se tiene la resistencia a la curva cuando la longitud del vehículo es igual prácticamente, es decir, cuando la longitud del tren es de 300 m (longitud del tren igual al radio). Ahí es cuando se tiene afección de la curvatura en el tren. Pero siendo el ferrobús, el autobús y los automotores trenes más cortos, sobre todo los dos primeros, no se considera dicha resistencia a la curva. No obstante, sí que tiene efecto, pero se desprecia porque la longitud de ese tren es muy pequeña (igual aportaría un 1% más de resistencia al avance, pero eso no es nada)

$$R_c \approx 0$$

La resistencia total al avance será la suma de la resistencia a la rodadura y resistencia aerodinámica.

$$R_t = R_r + R_a$$

Donde R_a toma un valor distinto para cada tramo.

El Trabajo resistente será $W_r = R_t \cdot \text{distancia entre puntos}$

Además, se deben calcular los elementos cinemáticos (energía potencial y energía cinética).

$E_c = \frac{1}{2} \cdot \text{masa en orden de marcha} \cdot (v_{\text{actual}} - v_{\text{anterior}})^2$, donde E_c es la energía cinética. Su contribución, es decir, las variaciones de velocidad van a ser más importantes incluso que la energía potencial, ya que el término de velocidad está elevado al cuadrado.

$$E_p = \text{masa en orden de marcha} \cdot \text{gravedad} \cdot (h_{\text{actual}} - h_{\text{anterior}})$$

Donde la gravedad es $9,81 \text{ m/s}^2$, y h es la altura del punto.

Otro término adicional para tener en cuenta es el ralentí, que se considera porque como el vehículo para muchas veces, durante la parada el tren no se apaga (si es eléctrico sí que lo apagan, pero si es térmico no), luego ese tiempo de consumo se va a tener que considerar. Ir a ralentí se asemeja a ir muy despacio, como ir a 5km/h durante 1 min. Por tanto, se calcula con la expresión de energía cinética donde la velocidad serán esos 5km/h.

Si $W_R = W_r + E_c + E_p > 0$, dicho trabajo va al motor, en cambio si $W_R = W_r + E_c + E_p < 0$, va al freno

A ese valor de W_R sumándole todas las aportaciones de energía consumida a ralentí dará lugar al consumo total de la línea, expresado en kWh.

Se pasará a L, y a L equivalentes en el caso del cálculo del automotor eléctrico, para poder realizar la comparación.

PCI diésel	42900	KJ/kg
densidad diésel	850	kg/m ³

Con dichos factores de conversión primero se pasa de kWh a kJ, después a m³, a L, y finalmente a L/100km.

Finalmente, para evaluar las pérdidas térmicas:

En cuanto al rendimiento del motor térmico: dicho motor se calienta y tiene pérdidas, la transmisión también tiene pérdidas en los engranajes, la reductora cuando está reduciendo, los ejes, los rozamientos internos del motor, es decir, toda la energía que se pone en juego con dicho motor el 50% se pierde. Eficiencia del 50%

En el automotor eléctrico, como no es térmico, no se calienta, y no hay pérdidas térmicas. En cambio, un motor eléctrico también tiene transmisión. En conclusión, un motor eléctrico tiene un rendimiento del 90% y lo que sería la transmisión también abarcaría un 90%, luego $0,9 \times 0,9 = 0,81$. Eficiencia del 81%

Es decir, en un vehículo ferroviario, este tendrá apenas pérdidas por rodadura si es vehículo eléctrico, y la transmisión también será mejor porque vendrá del motor eléctrico con lo cual la eficiencia de un vehículo ferroviario eléctrico es mucho mayor que el resto de los vehículos con los cuales se está comparando.

Se muestran a continuación los cálculos para el trayecto de ida en la línea 1 para el ferrobús con ocupación máxima.

		Punto	Altura (m)	v(km/h)	v (m/s)	km	t(h)	t(min)	km acumulativo	Ra (kgf)
CALATAYUD		1	531	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			531	140	38,89	0,06	0,01	0,05	0,06	107,76
			552	140	38,89	6,48	0,06	3,43	6,54	431,04
TERRER	EST	2	552	0	0,00	0,06	0,07	4,07	6,60	107,76
			552	0	0,00	0,00	0,08	5,07	6,60	0,00
			552	140	38,89	0,06	0,10	5,72	6,66	107,76
		3	580	140	38,89	6,04	0,14	8,31	12,70	431,04
			583	140	38,89	0,54	0,14	8,54	13,24	431,04
ATECA	EST	4	583	0	0,00	0,06	0,15	9,19	13,30	107,76
			583	0	0,00	0,00	0,17	10,19	13,30	0,00
			583	100	27,78	0,03	0,18	10,66	13,33	54,98
			642	100	27,78	7,64	0,25	15,24	20,97	219,92
BUBIERCA	EST	5	642	0	0,00	0,03	0,26	15,70	21,00	54,98
			642	0	0,00	0,00	0,28	16,70	21,00	0,00
			642	100	27,78	0,03	0,29	17,17	21,03	54,98
		6	648	100	27,78	0,57	0,29	17,51	21,60	219,92
			663	100	27,78	4,67	0,34	20,31	26,27	219,92
ALHAMA ARAGON	EST	7	663	0	0,00	0,03	0,35	20,77	26,30	54,98
			663	0	0,00	0,00	0,36	21,77	26,30	0,00
			663	110	30,56	0,04	0,37	22,28	26,34	66,53
			674	110	30,56	4,73	0,41	24,86	31,06	266,10
CETINA	EST	8	674	0	0,00	0,04	0,42	25,37	31,10	66,53
			674	0	0,00	0,00	0,44	26,37	31,10	0,00
			674	140	38,89	0,06	0,45	27,02	31,16	107,76
			712	140	38,89	8,48	0,51	30,65	39,64	431,04
ARIZA	EST	9	712	0	0,00	0,06	0,52	31,30	39,70	107,76
			712	0	0,00	0,00	0,54	32,30	39,70	0,00
			712	140	38,89	0,06	0,55	32,95	39,76	107,76
		10	719	140	38,89	2,84	0,57	34,17	42,60	431,04
		11	724	140	38,89	1,30	0,58	34,73	43,90	431,04
			726	140	38,89	0,34	0,58	34,87	44,24	431,04
MONREAL DE ARIZA	EST	12	726	0	0,00	0,06	0,59	35,52	44,30	107,76

Figura 25. Interfaz de excel con cálculos del tiempo y resistencia aerodinámica en cada tramo. Fuente: elaboración propia

Ra (N)	Rt (kgf)	Rt (N)	Wr (J)	Wr (kwh)	Ec (J)	Ec (kwh)	Ep (J)	Ep (kwh)	WR (J)	WR (kwh)	WRM (kwh)	WF (kwh)	W ralenti (kwh)	WRM TOTAL (kwh)	WRM FINAL(kwh)
1057,13	216,91	2127,89	124155,43	0,03	41268132,72	11,46	0,00	0,00	41392288,15	11,50	11,50	0,00	0,00	11,50	11,50
4228,52	540,19	5299,28	34356889,61	9,54	0,00	0,00	11242995,75	3,12	45599885,36	12,67	12,67	0,00	0,00	12,67	12,67
1057,13	216,91	2127,89	124155,43	0,03	-41268132,72	-11,46	0,00	0,00	-41143977,28	-11,43	0,00	11,43	0,00	0,00	0,00
0,00	109,15	1070,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
1057,13	216,91	2127,89	124155,43	0,03	41268132,72	11,46	0,00	0,00	41392288,15	11,50	11,50	0,00	0,00	11,50	11,50
4228,52	540,19	5299,28	32016442,75	8,89	0,00	0,00	14990661,00	4,16	47007103,75	13,06	13,06	0,00	0,00	13,06	13,06
4228,52	540,19	5299,28	2870375,36	0,80	0,00	0,00	1606142,25	0,45	4476517,61	1,24	1,24	0,00	0,00	1,24	1,24
1057,13	216,91	2127,89	124155,43	0,03	-41268132,72	-11,46	0,00	0,00	-41143977,28	-11,43	0,00	11,43	0,00	0,00	0,00
0,00	109,15	1070,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
539,35	164,13	1610,11	47931,01	0,01	21055169,75	5,85	0,00	0,00	21103100,77	5,86	5,86	0,00	0,00	5,86	5,86
2157,41	329,07	3228,17	24664723,09	6,85	0,00	0,00	31587464,25	8,77	56252187,34	15,63	15,63	0,00	0,00	15,63	15,63
539,35	164,13	1610,11	47931,01	0,01	-21055169,75	-5,85	0,00	0,00	-21007238,74	-5,84	0,00	5,84	0,00	0,00	0,00
0,00	109,15	1070,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
539,35	164,13	1610,11	47931,01	0,01	21055169,75	5,85	0,00	0,00	21103100,77	5,86	5,86	0,00	0,00	5,86	5,86
2157,41	329,07	3228,17	1840804,37	0,51	0,00	0,00	3212284,50	0,89	5053088,87	1,40	1,40	0,00	0,00	1,40	1,40
2157,41	329,07	3228,17	15076307,27	4,19	0,00	0,00	8030711,25	2,23	23107018,52	6,42	6,42	0,00	0,00	6,42	6,42
539,35	164,13	1610,11	47931,01	0,01	-21055169,75	-5,85	0,00	0,00	-21007238,74	-5,84	0,00	5,84	0,00	0,00	0,00
0,00	109,15	1070,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
652,62	175,68	1723,38	62076,31	0,02	25476755,40	7,08	0,00	0,00	25538831,71	7,09	7,09	0,00	0,00	7,09	7,09
2610,47	375,25	3681,23	17404695,48	4,83	0,00	0,00	5889188,25	1,64	23293883,73	6,47	6,47	0,00	0,00	6,47	6,47
652,62	175,68	1723,38	62076,31	0,02	-25476755,40	-7,08	0,00	0,00	-25414679,09	-7,06	0,00	7,06	0,00	0,00	0,00
0,00	109,15	1070,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
1057,13	216,91	2127,89	124155,43	0,03	41268132,72	11,46	0,00	0,00	41392288,15	11,50	11,50	0,00	0,00	11,50	11,50
4228,52	540,19	5299,28	44954559,57	12,49	0,00	0,00	20344468,50	5,65	65299928,07	18,14	18,14	0,00	0,00	18,14	18,14
1057,13	216,91	2127,89	124155,43	0,03	-41268132,72	-11,46	0,00	0,00	-41143977,28	-11,43	0,00	11,43	0,00	0,00	0,00
0,00	109,15	1070,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
1057,13	216,91	2127,89	124155,43	0,03	41268132,72	11,46	0,00	0,00	41392288,15	11,50	11,50	0,00	0,00	11,50	11,50
4228,52	540,19	5299,28	15058730,81	4,18	0,00	0,00	3747665,25	1,04	18806396,06	5,22	5,22	0,00	0,00	5,22	5,22
4228,52	540,19	5299,28	6889070,48	1,91	0,00	0,00	2676903,75	0,74	9565974,23	2,66	2,66	0,00	0,00	2,66	2,66
4228,52	540,19	5299,28	1810518,36	0,50	0,00	0,00	1070761,50	0,30	2881279,86	0,80	0,80	0,00	0,00	0,80	0,80
1057,13	216,91	2127,89	124155,43	0,03	-41268132,72	-11,46	0,00	0,00	-41143977,28	-11,43	0,00	11,43	0,00	0,01	0,01

Figura 26. Interfaz de excel con cálculos de las diferentes resistencias, elementos cinemáticos y trabajo que va al motor. Fuente: elaboración propia

velocidad a considerar para calculo ralenti =	5 km/h
	1,38888889 m/s

Energía consumida a ralenti(J)	162856,867
en kwh	0,04523802

Ferrobús de 50t de masa (50.000 kg)	m =	50000 kg
nºpasajeros	n=	61 pasajeros
masa en orden de marcha	m =	54575 kg

	por tonelada	por kg
Coef. Rod. =	2	0,002

Dimensiones ferrobús		
ancho =	2,9 m	
alto =	3,7 m	
S =	9,1205 m ²	

g =	9,81 m/s ²
Cx =	0,5

Rr =	109,15 kgf	1070,7615 N
Rc =	0,00 kgf	0,00 N

tiempo espera estación(min) =	1
-------------------------------	---

	WRM (kwh)	WRM (J)	WRM (kJ)	kg consumidos	m^3 consumidos	L consumidos	L/km	L/100km	L/h
Calatayud-Monreal de Ariza	148,6183096	535025915	535025,9147	12,47146654	0,014672314	14,67231358	0,33120347	33,1203467	24,7842473

Figura 27. Diferentes tablas con datos relevantes para el cálculo. Fuente: elaboración propia.

El consumo del ferrobús en el recorrido Calatayud-Monreal de Ariza sería de 33,12 L/100km, pero considerando la eficiencia tratándose de un motor térmico se divide por 0,5 luego el consumo es de 66,24L/100km. La longitud del trayecto es de 44,3km y la duración de este es de 35,52 min.

A su vez habría que calcular el valor para la ocupación ferrobús vacío. Se mostrará tanto este como el resto de los consumos y valores reseñables en una tabla resumen más adelante.

También se debe comprobar que la potencia tramo es menor a la potencia adherente.

FI	POTENCIA ADHERENTE (CV)	POTENCIA TRAMO (CV)	CUMPLE
0	0	0	Sí
0,1	2829,81481	146,635859	Sí
0,1	2829,81481	186,489435	Sí
0,24	0	0	Sí
0,24	0	0	Sí
0,1	2829,81481	339,577778	Sí
0,1	2829,81481	146,909535	Sí
0,1	2829,81481	121,446219	Sí
0,24	0	0	Sí
0,24	0	0	Sí
0,12	2425,55556	118,168091	Sí
0,12	2425,55556	141,490741	Sí
0,24	0	0	Sí
0,24	0	0	Sí
0,12	2425,55556	40,4259259	Sí
0,12	2425,55556	40,4259259	Sí
0,12	2425,55556	40,4259259	Sí
0,24	0	0	Sí
0,24	0	0	Sí
0,11428571	2541,0582	44,4685185	Sí
0,11428571	2541,0582	44,4685185	Sí
0,24	0	0	Sí
0,24	0	0	Sí
0,1	2829,81481	56,5962963	Sí
0,1	2829,81481	56,5962963	Sí
0,24	0	0	Sí
0,24	0	0	Sí
0,1	2829,81481	56,5962963	Sí
0,1	2829,81481	56,5962963	Sí
0,1	2829,81481	56,5962963	Sí
0,1	2829,81481	56,5962963	Sí
0,24	0	0	Sí

Donde $Potencia_{adherente} = \frac{100}{27} \cdot fi \cdot masa \text{ en orden de marcha}(T) \cdot v(\frac{km}{h})$, donde $fi = \frac{0.24}{(1+0.01 \cdot v(\frac{km}{h}))}$, y $Potencia_{tramo} = masa \text{ en orden de marcha}(T) \cdot \frac{(2+pcte(\%_o)) \cdot v(\frac{m}{s})}{75}$

Ahora, hay que realizar el mismo cálculo, pero para el trayecto de vuelta de la línea 1, se hace invirtiendo las columnas de altura, velocidad y punto kilométrico, a partir de ahí recalculando se obtienen los siguientes valores.

	WRM (kwh)	WRM (J)	WRM (kJ)	kg consumidos	m³ consumidos	L consumidos	L/km	L/100km	L/h
Calatayud-Monreal de Ariza	95,43673369	343572241	343572,2413	8,008676953	0,009421973	9,421972886	0,21268562	21,2685618	15,9154522

Figura 28. Tabla resumen resultados. Fuente: elaboración propia

El consumo del ferrobús en el recorrido Monreal de Ariza-Calatayud es de 21,26 L/100km, pero considerando la eficiencia tratándose de un motor térmico se divide por 0,5 luego el consumo es de 42,54L/100km. La longitud del trayecto es de 44,3km y la duración de este es de 35,52 min.

Para el cálculo de las emisiones se utiliza la fórmula de AECOC, que consiste en multiplicar el consumo por un coeficiente tabulado por la tabla siguiente.

Combustible empleado	Consumo de energía normalizado				Emisiones de gases de efecto invernadero (calculadas como equivalentes de CO ₂)			
	Del tanque a las ruedas (eT)		Del pozo a las ruedas (eW)		Del tanque a las ruedas (gT)		Del pozo a las ruedas (gW)	
	MJ/kg	MJ/l	MJ/kg	MJ/l	kg CO ₂ e/kg	kg CO ₂ e/l	kg CO ₂ e/kg	kg CO ₂ e/l
Gasolina	43,2	32,2	60,6	37,7	3,25	2,42	3,66	2,88
Etanol	26,8	21,3	65,7	52,1	0,00	0,00	1,56	1,24
Gasolina E5 (5 % vol. etanol)	42,4	31,7	61,4	38,4	3,08	2,30	3,74	2,80
Gasolina E10 (10 % vol. etanol)	41,5	31,1	62,2	39,1	2,90	2,18	3,62	2,72
Diésel	43,1	35,9	51,3	42,7	3,21	2,67	3,90	3,24
Biodiésel	36,8	32,8	76,9	68,5	0,00	0,00	2,10	1,92
Diésel D5 (5 % vol. biocombustible)	42,8	35,7	52,7	44,0	3,04	2,54	3,80	3,17
Diésel D7 (7 % vol. biocombustible)	42,7	35,7	53,2	44,5	2,97	2,48	3,76	3,15
Gas Natural Comprimido	45,1	7,85*	50,5	8,84*	2,68	0,469*	3,07	0,537*
Gas Natural Licuado	46,1	20,4*	60,5	22,9*	2,68	1,21*	3,07	1,39*
Gas Licuado de Petróleo	46,0	25,3	51,5	28,3	3,10	1,70	3,46	1,90

Fuente: Norma EN 16258.
Notas: (*) cálculo realizado de acuerdo a la densidad de este tipo de combustible según las bases de datos de DEFRA.
 A efectos del cálculo de huella corporativa, se considerará lo siguiente:
 El consumo energético directo (eD) es el consumo energético del tanque a la rueda (eT), mientras que el consumo energético indirecto (eI) es la diferencia entre el consumo energético del pozo a la rueda (eW) y el del tanque a la rueda (eT).

$$e_D = e_T; e_I = e_W - e_T$$

 Las emisiones de GEI directas (gD) son las emisiones de GEI del pozo al tanque (gT), mientras que las emisiones de GEI indirectas (gI) son la diferencia entre las emisiones de GEI del pozo a la rueda (gW) y del tanque a la rueda (gT).

$$g_D = g_T; g_I = g_W - g_T$$

Figura 29. Tabla de AECOC. Fuente: <https://www.aecoc.es/>

Para el diésel el coeficiente es de 2,67.

Para la línea 1 con ferrobús y ocupación máxima: Emisiones (T CO₂/100km) =

$$(1/1000) * (66,24L/100km) * 2,67 = 0,179 \text{ T CO}_2/100km$$

Para la línea 1 con ferrobús y ocupación vacío: Emisiones (T CO₂/100km) =

$$(1/1000) * (42,54L/100km) * 2,67 = 0,114 \text{ T CO}_2/100km$$

En el caso de automotor eléctrico su emisión es cero con el criterio de hacer emisiones durante el uso y no durante todo el ciclo, como se está calculando directamente sobre lo que sería la utilización,

no se está haciendo un análisis medioambiental, se está haciendo un análisis de utilización de uso, en teoría se tendría que coger solamente el del consumo, con lo cual las emisiones del eléctrico serian cero.

Como ya se ha explicado la metodología de cálculo, para el resto de las líneas, se va a incluir únicamente la tabla con los valores de altura y velocidad de cada punto, así como las gráficas de perfil y variación de velocidad frente al tiempo. Finalmente se adjuntará una tabla resumen comparativa para cada uno de los vehículos.

5.3.2 Línea 2: Zaragoza-Gallur

Obtención de las rutas y alturas en recorrido por ferrocarril

		PUNTO	KM	ALTURA (m)	V MAX PERMITIDA (km/h)
MIRAFLORES	EST	1	344,3	198	55
		2	342	198	55
ZGZ-GOYA	EST	3	341,8	198	55
		4	341,4	198	55
ZGZ-PORTILLO	EST	5	340,9	198	80
ZGZ-DELICIAS	EST	6	339,4	198	80
		7	338,7	197	80
		8	337,1	199	140
		9	335,6	202	140
UTEBO	EST	10	330	208	140
CASSETAS	EST	11	327,5/1 5,4	207	140
ALAGÓN	EST	12	24,8	226	140
CABAÑAS DE E.	EST	13	29,9	223	140
PEDROLA	EST	14	33,3	227	140
LUCENI	EST	15	37,5	232	140
		16	43,9	245	140
		17	44,1	250	140
		18	45,1	262	140
GALLUR	EST	19	45,4	263	140

DIST EN KM (DESDE ESTE PUNTO AL ANTERIOR)	LONGITUD (KM)	PDTE (%)	PDTE (%)	ALTURAS A CORREGIR	ALTURA CORRECCIÓN (m)	PDTE (%)
0,000	0	0,000	0,000		198,000	0,000
2,300	2,30	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,200	2,50	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,400	2,90	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,500	3,40	0,000	0,000	0	198,000	0,000
1,500	4,90	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,700	5,60	0,143	1,429	0	197,000	1,429

1,600	7,20	0,125	1,250	0	199,000	1,250
1,500	8,70	0,200	2,000	0	202,000	2,000
5,600	14,30	0,107	1,071	0	208,000	1,071
2,500	16,80	0,040	0,400	0	207,000	0,400
9,400	26,20	0,202	2,021	0	226,000	2,021
5,100	31,30	0,059	0,588	0	223,000	0,588
3,400	34,70	0,118	1,176	0	227,000	1,176
4,200	38,90	0,119	1,190	0	232,000	1,190
6,400	45,30	0,203	2,031	0	245,000	2,031
0,200	45,50	2,500	25,00	1	245,566	2,831
			0			
1,000	46,50	1,200	12,00	1	252,298	6,731
			0			
0,300	46,80	0,333	3,333	1	254,677	7,931

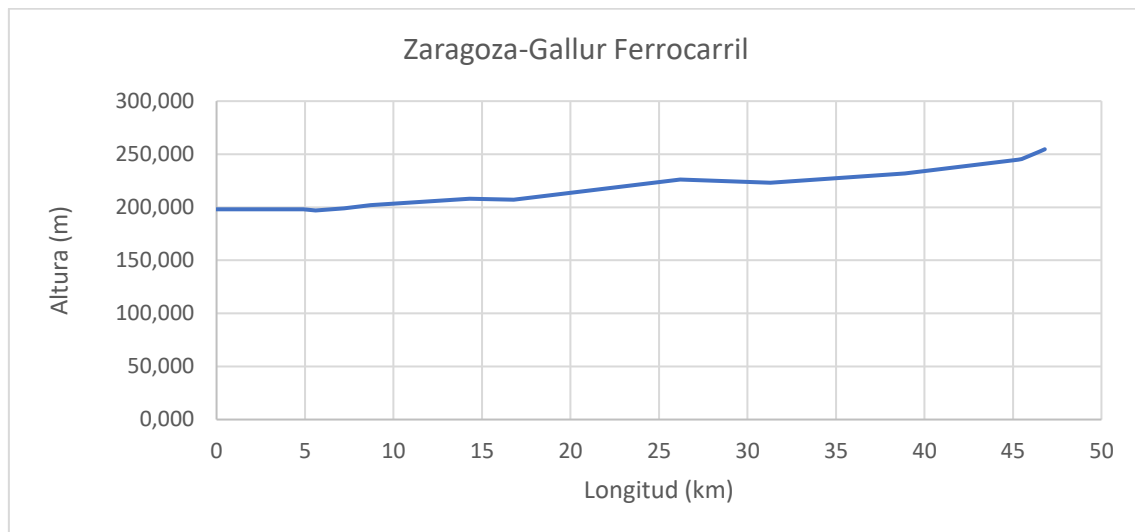


Figura 30. Perfil Zaragoza-Gallur por ferrocarril. Fuente: elaboración propia

La *Figura 31*, se refiere para ambos vehículos, este caso el automotor y el ferrobús tienen la misma velocidad máxima:

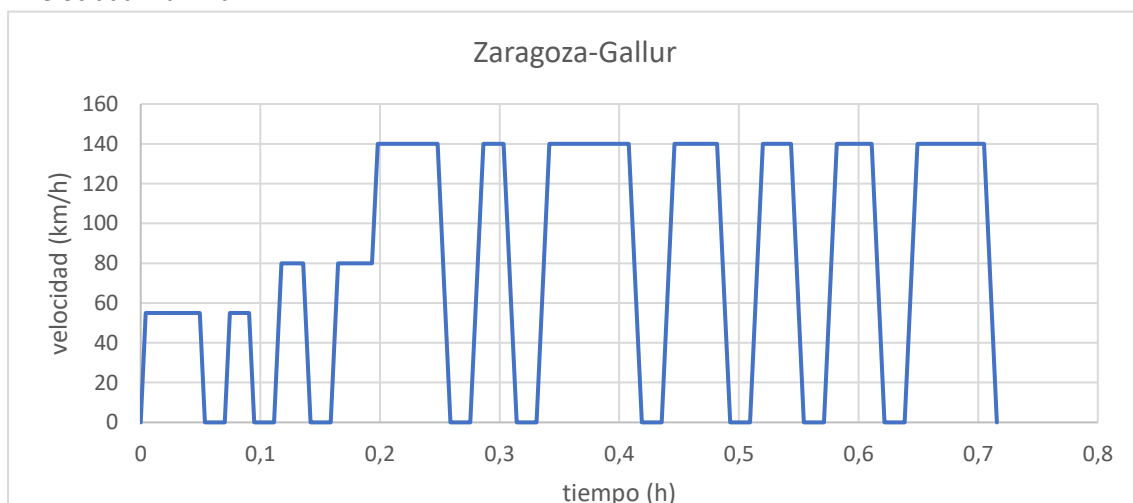


Figura 31. Variación de velocidad para la línea Zaragoza-Gallur por ferrocarril, ida. Fuente: elaboración propia

Obtención de las rutas y alturas en recorrido por carretera

	PUNTO	ALTURA (m)	VELOCIDAD AUTOBUS (km/h)	DIST EN KM (DESDE ESTE PUNTO AL ANTERIOR)
ZARAGOZA	1	211	60	0,000
	2	210	60	0,630
	3	208,384	60	1,464
	4	199,957	60	2,615
A	5	208,387	100	1,583
	6	207,604	100	5,045
B	7	211,84	100	0,625
UTEBO	8	211	60	1,012
C	9	212,217	60	1,596
D	10	215,197	60	2,242
CASSETAS	11	213,579	60	0,977
E	12	224,619	100	0,536
F	13	227,69	100	7,327
ALAGÓN	14	226,633	100	0,812
G	15	234,365	100	1,234
H	16	219	100	4,544
CABAÑA DE E	17	218,984	60	0,434
I	18	220	100	0,845
J	19	245,4	100	6,450
PEDROLA	20	243,767	100	0,491
K	21	244,7	100	0,528
L	22	231,529	60	6,371
LUCENI	23	230	100	0,792
M	24	230,26	100	0,501
N	25	260	100	7,829
GALLUR	26	246,918	100	0,738

LONGITUD (KM)	PDTE (%)	PDTE (‰)	ALTURAS A CORREGIR	ALTURA CORRECCIÓN (m)	PDTE (‰)
0	0,159	1,587	0	211,000	1,587
0,6302809	0,159	1,587	0	210,000	1,587
2,094196	0,110	1,104	0	208,384	1,104
4,709183	0,322	3,223	0	199,957	3,223
6,292553	0,532	5,324	0	208,387	5,324
11,33762	0,016	0,155	0	207,604	0,155
11,96269	0,678	6,777	1	209,000	2,233

12,97476	0,083	0,830	1	211,000	1,976
14,5705	0,076	0,763	0	212,217	0,763
16,81252	0,133	1,329	0	215,197	1,329
17,78973	0,166	1,656	0	213,579	1,656
18,32577	2,060	20,595	1	215,000	2,651
25,65299	0,042	0,419	0	227,690	1,732
26,4647	0,130	1,302	0	226,633	1,302
27,69856	0,627	6,267	1	234,000	5,971
32,24233	0,338	3,382	0	219,000	3,301
32,67667	0,004	0,037	1	218,000	2,302
33,52167	0,120	1,202	0	220,000	2,367
39,97128	0,394	3,938	0	245,400	3,938
40,46209	0,333	3,327	0	243,767	3,327
40,99014	0,177	1,767	0	244,700	1,767
47,36156	0,207	2,067	0	231,529	2,067
48,15332	0,193	1,931	0	230,000	1,931
48,65433	0,052	0,519	0	230,260	0,519
56,48338	0,380	3,799	0	260,000	3,799
57,22125	1,773	17,729	1	256,000	5,421

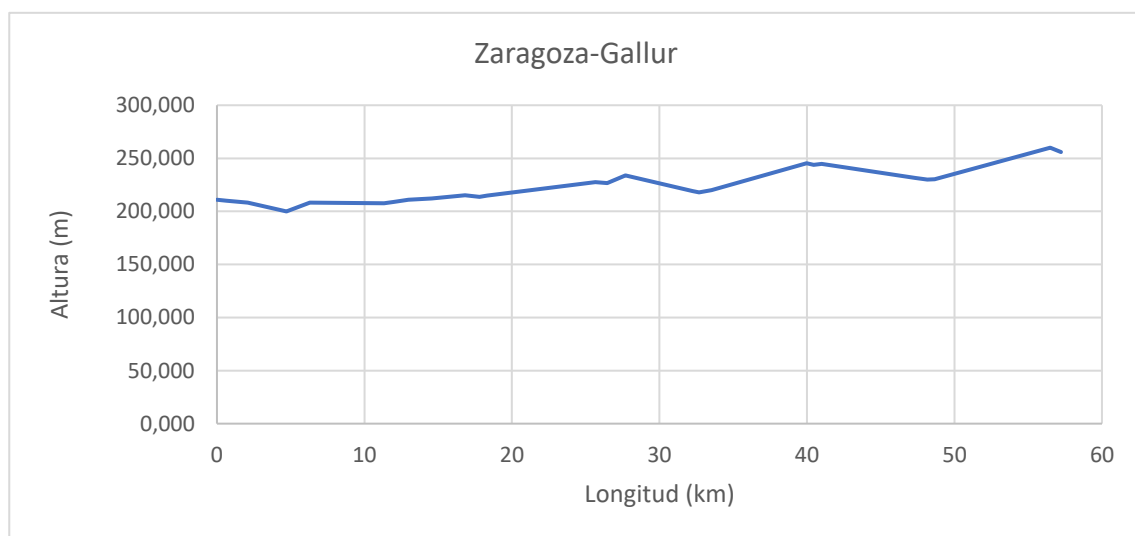


Figura 32. Perfil Zaragoza-Gallur por carretera. Fuente: elaboración propia

I

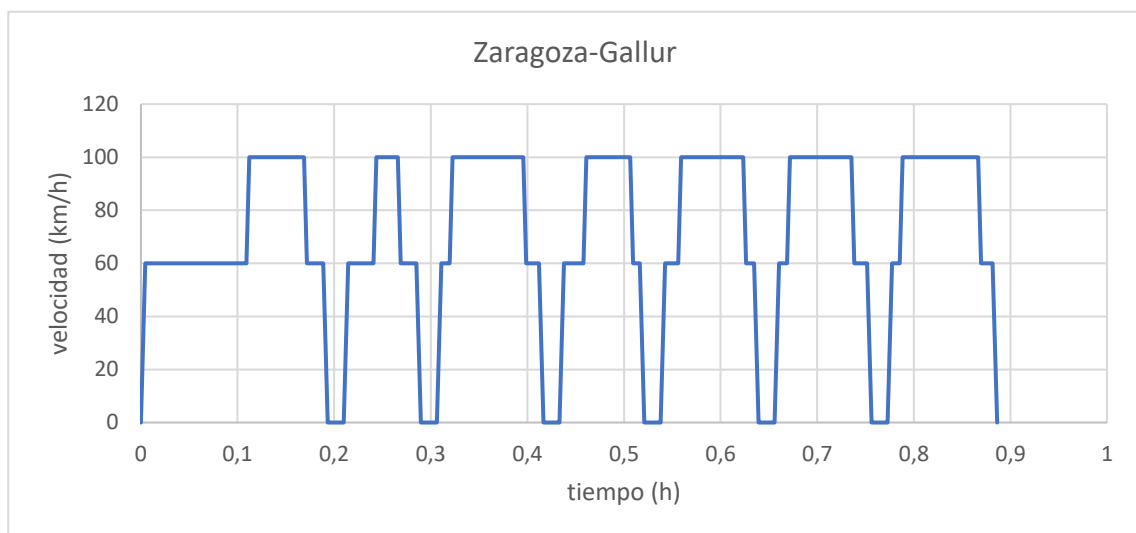


Figura 33.Variación de velocidad para la línea Zaragoza-Gallur por carretera, ida. Fuente: elaboración propia

5.3.3 Línea 3: Huesca-Canfranc

Obtención de las rutas y alturas en recorrido por ferrocarril

		PUNTO	KM	ALTURA (m)	V MAX PERMITIDA (km/h)
HUESCA	EST	1	21,7	457	40
		2	21,3	454	40
		3	18/0	429	160
		4	1,7/2,3	438	125
		5	3,5	447	155
		6	4,3/0,8	458	120
		7	7,1	501	120
		8	9,3	516	95
		9	11	521	100
		10	13,4	511	120
PLASENCIA DEL MONTE AYERBE	EST	11	14,5	494	105
		12	15,6	494	40
		13	35	592	60
RIGLOS-CONCILIO RIGLOS	EST	14	40,5	587	60
		15	40,8	578	50
		16	41,7	571	60
		17	45	570	70
		18	50,4	550	65
STA. MARÍA Y PEÑA	EST	19	50,7	568	50
		20	53,4	551	65
		21	55,2	560	70

		22	56,7	554	60
ANZÁNIGO	EST	23	59,4	604	70
		24	62,3	611	65
		25	64,2	616	60
CALDEATENAS-AQUÍ	EST	26	72,5	649	65
		27	73,1	650	75
		28	73,4	643	70
		29	75,7	667	75
		30	76,9	682	70
		31	79,3	690	75
		32	79,9	693	70
		33	91,3	770	75
		34	93	779	70
SABIÑÁNIGO	EST	35	94,3	781	75
		36	96,3	798	90
		37	96,8	801	85
		38	98,1	813	90
		39	98,8	821	80
		40	103,9	870	90
		41	109,8	834	75
JACA	EST	42	110,2/0	829	60
CASTIELLO-PUEBLO	EST	43	5,8	857	50
VILLANUA	EST	44	17,4	1075	50
CANFRANC	EST	45	24,7	1198	50

DIST EN KM (DESDE ESTE PUNTO AL ANTERIOR)	LONGITUD (KM)	PDTE (%)	PDTE (%)	ALTURAS A CORREGIR	ALTURA CORRECCIÓN (M)	PDTE(%)
0,000	0		7,500		457,000	7,500
0,400	0,40	0,750	7,500	0	454,000	7,500
3,300	3,70	0,758	7,576	0	429,000	7,576
1,700	5,40	0,529	5,294	0	438,000	5,294
1,200	6,60	0,750	7,500	0	447,000	7,500
0,800	7,40	1,375	13,750	1	453,085	7,606
6,3	13,70	0,683	6,825	0	501,000	7,606
2,2	15,90	0,682	6,818	0	516,000	6,818
1,7	17,60	0,294	2,941	0	521,000	2,941
2,4	20,00	0,417	4,167	0	511,000	4,167
1,1	21,10	1,545	15,455	1	515,125	3,750
1,1	22,20	0,000	0,000	1	519,250	3,750
19,4	41,60	0,505	5,052	0	592,000	3,750
5,5	47,10	0,091	0,909	0	587,000	0,909
0,3	47,40	3,000	30,000	1	586,500	1,667
0,9	48,30	0,778	7,778	1	582,467	4,481
3,3	51,60	0,030	0,303	0	570,000	3,778

5,4	57,00	0,370	3,704	0	550,000	3,704
0,3	57,30	6,000	60,000	1	551,000	3,333
2,7	60,00	0,630	6,296	1	556,250	1,944
1,8	61,80	0,500	5,000	0	560,000	2,083
1,5	63,30	0,400	4,000	0	554,000	4,000
2,7	66,00	1,852	18,519	1	576,320	8,267
2,9	68,90	0,241	2,414	1	600,293	8,267
1,9	70,80	0,263	2,632	0	616,000	8,267
8,3	79,10	0,398	3,976	0	649,000	3,976
0,6	79,70	0,167	1,667	0	650,000	1,667
0,3	80,00	2,333	23,333	1	650,500	1,667
2,3	82,30	1,043	10,435	1	671,895	9,302
1,2	83,50	1,250	12,500	0	682,000	8,421
2,4	85,90	0,333	3,333	0	690,000	3,333
0,6	86,50	0,500	5,000	0	693,000	5,000
11,4	97,90	0,675	6,754	0	770,000	6,754
1,7	99,60	0,529	5,294	0	779,000	5,294
1,3	100,90	0,154	1,538	0	781,000	1,538
2	102,90	0,850	8,500	0	798,000	8,500
0,5	103,40	0,600	6,000	1	802,600	9,200
1,3	104,70	0,923	9,231	0	814,560	9,200
0,7	105,40	1,143	11,429	0	821,000	9,200
5,1	110,50	0,961	9,608	0	870,000	9,608
5,9	116,40	0,610	6,102	0	834,000	6,102
0,4	116,80	1,250	12,500	1	836,000	5,000
5,8	122,60	0,483	4,828	0	857,000	3,621
11,6	134,20	1,879	18,793	0	1075,000	18,793
7,3	141,50	1,685	16,849	0	1198,000	16,849

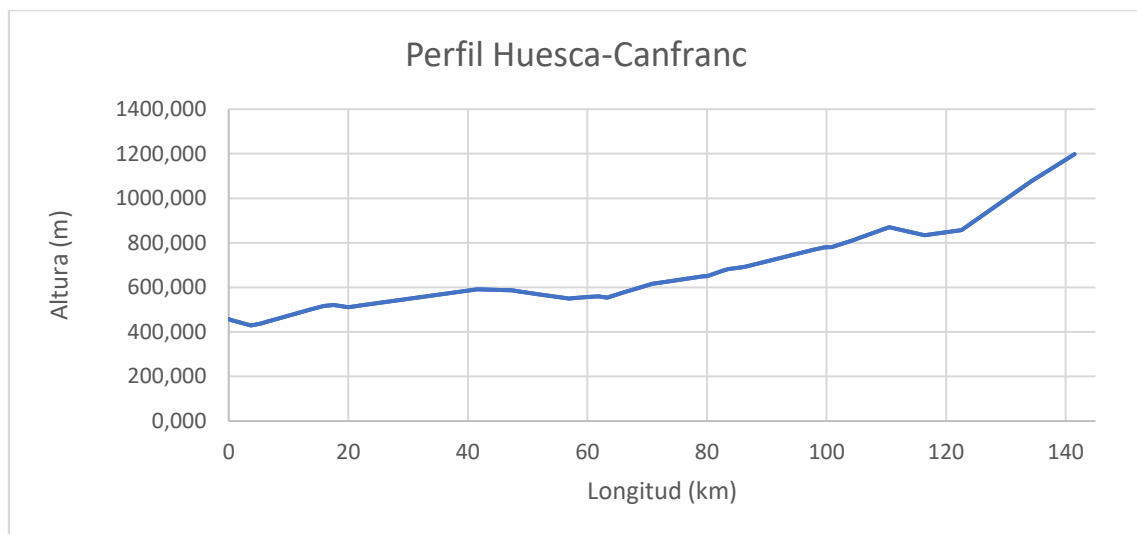


Figura 34. Perfil Huesca-Canfranc por ferrocarril. Fuente: elaboración propia

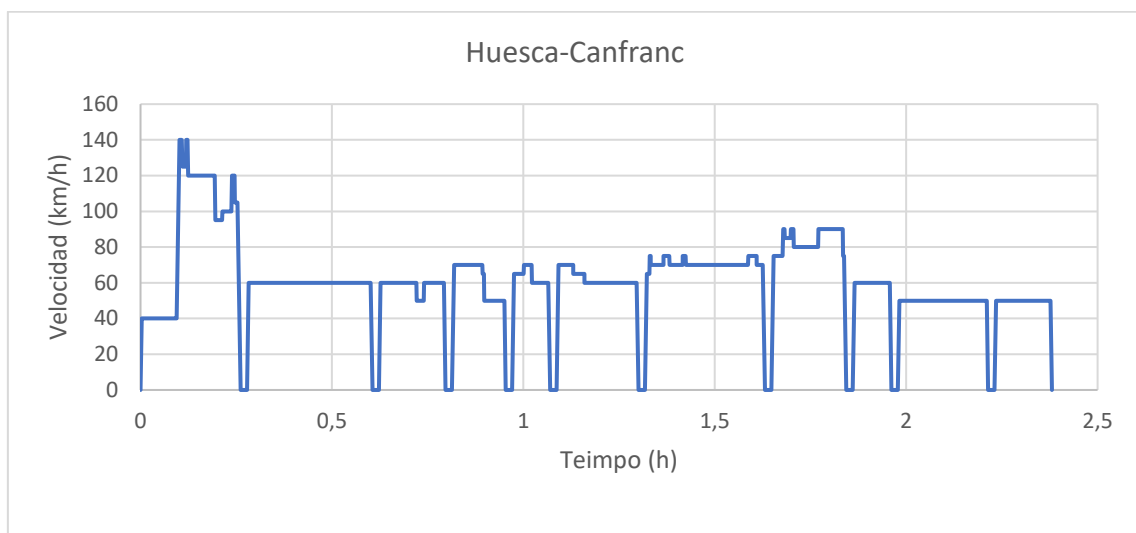


Figura 35.Variación de velocidad para la línea Huesca-Canfranc por ferrocarril, ida. Fuente: elaboración propia

Para el tramo de vuelta la gráfica sería exactamente la misma a modo de espejo.

Obtención de las rutas y alturas en recorrido por carretera

	ALTURA(m)	VELOCIDAD AUTOBUS (km/h)	DIST EN km (DESDE ESTE PUNTO AL ANTERIOR)
HUESCA	455	60	0,000
A	480	60	4,068
B	529,609	60	15,467
PLASENCIA M	537,468	60	0,372
C	537,475	100	0,425
D	594,617	100	9,819
AYERBE	575,934	100	0,858
E	571,872	60	0,693
F	621,55	60	13,537
RIGLOS	651,954	60	0,407
G	616,773	60	0,853
	609,411	100	2,860
	515,643	100	11,969
	557,519	100	9,941
H	571,322	100	4,481
ANZÁNIGO	592,831	100	0,466
I	571,702	60	0,510
	592,674	100	1,891
J	647,014	100	15,518
CALDEARENA	646,533	100	0,677
K	648,982	100	0,688
	671,908	60	1,098
L	774,992	100	19,305

SABIÑÁNIGO	792,899	100	1,509
M	782,029	100	0,797
N	842,594	100	15,596
JACA	820,512	60	1,738
Ñ	800,036	100	1,672
O	845,964	100	5,492
CASTIELLO	844,721	100	0,548
P	861,009	100	0,552
Q	938,983	100	5,901
VILLANUA	954,461	60	0,514
R	961,778	100	0,610
S	1196,021	100	8,013
CANFRANC	1205,826	60	0,530

LONGITUD (km)	PDTE (%)	PDTE (‰)	ALTURAS A CORREGIR	ALTURA CORRECCIÓN (m)	PDTE (‰)
0	0,615	6,145	0	455,000	6,145
4,068292	0,615	6,145	0	480,000	6,145
19,53497	0,321	3,207	0	529,609	3,207
19,90689	2,113	21,131	1	531,000	3,740
20,33199	0,002	0,016	1	533,000	4,705
30,15135	0,582	5,820	0	594,617	6,479
31,0096	2,177	21,769	1	587,000	8,875
31,70242	0,586	5,863	1	579,000	11,547
45,23971	0,367	3,670	0	621,550	2,552
45,64655	7,473	74,732	1	621,000	1,352
46,49972	4,124	41,236	1	618,000	4,161
49,36002	0,257	2,574	1	609,000	4,195
61,32858	0,783	7,835	0	515,643	7,800
71,26982	0,421	4,212	0	557,519	4,212
75,7512	0,308	3,080	0	571,322	3,080
76,21714	4,616	46,163	1	573,000	3,601
76,72744	4,141	41,405	1	572,000	1,329
78,6189	1,109	11,088	1	593,000	10,574
94,13662	0,485	4,853	0	647,014	4,834
94,8137	0,071	0,710	1	650,000	4,410
95,50183	0,356	3,559	1	648,000	2,906
96,59999	2,088	20,877	1	656,000	7,285
115,9045	0,534	5,340	0	774,992	6,164
117,4135	1,187	11,867	1	774,000	0,657
118,2102	1,364	13,644	0	782,029	10,078
133,8058	0,388	3,883	0	842,594	3,883
135,5442	1,270	12,702	1	824,000	10,696
137,2157	1,225	12,250	0	800,036	14,337

142,7081	0,836	8,362	0	845,964	8,362
143,2559	0,227	2,269	1	842,000	7,236
143,8082	2,949	29,491	1	847,000	9,053
149,709	1,321	13,214	0	938,983	15,588
150,2232	3,010	30,101	1	948,000	17,536
150,8328	1,200	12,003	1	960,000	19,685
158,8456	2,923	29,234	0	1196,021	29,455
159,3752	1,851	18,514	1	1211,000	28,284

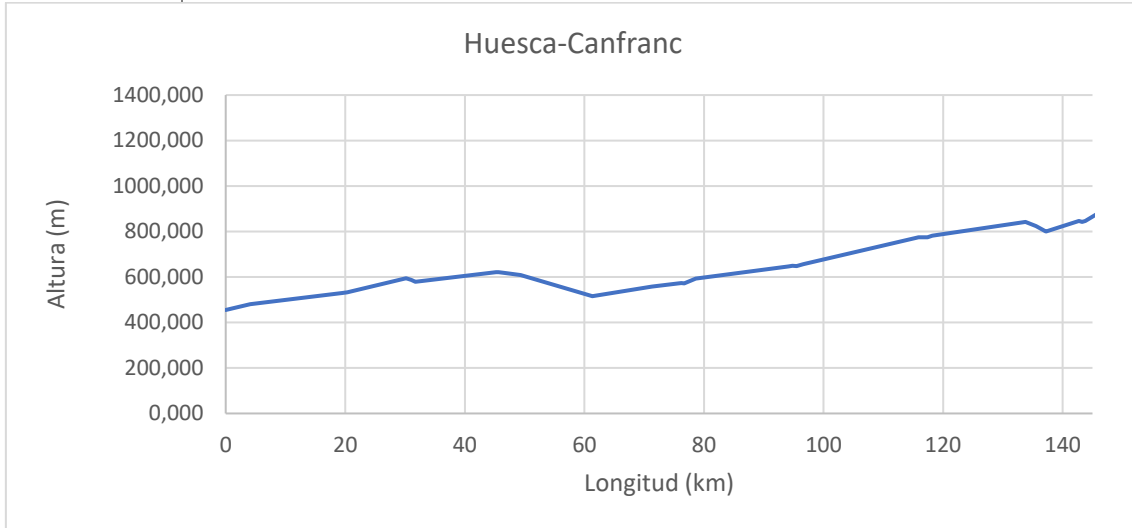


Figura 36. Perfil Huesca-Canfranc por carretera. Fuente: elaboración propia

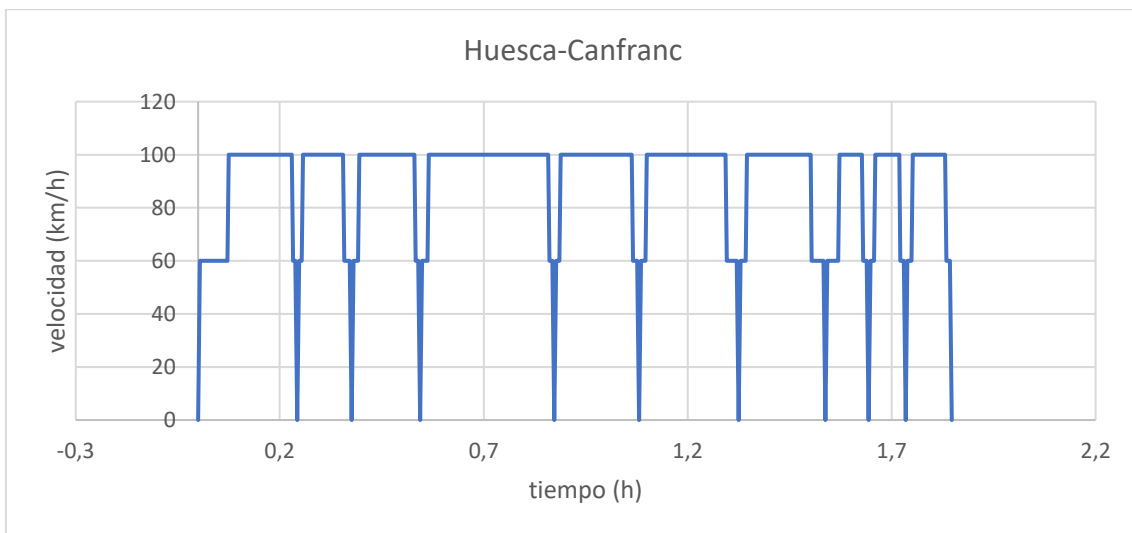


Figura 37. Variación de velocidad para la línea Huesca-Canfranc por carretera, ida. Fuente: elaboración propia

5.3.4 Línea 4: Zaragoza-Binéfar

		PUNTO	KM	ALTURA (m)	V MAX PERMITIDA (km/h)
ZGZ-DELICIAS	EST	1	339,4	198	80
ZGZ-PORTILLO	EST	2	340,9	198	80
		3	341,4	198	80
ZGZ-GOYA	EST	4	341,8	198	70
		5	342	198	70
		6	343,9	198	80
MIRAFLORES	EST	7	344,3/0,0	198	55
		8	0,9	191	60
		9	1,5	188	60
		10	6,1	196	160
		11	6,8	202	160
		12	7,8	205	160
		13	8,5	214	160
		14	11,5/7,3	219	160
VILLANUEVA GÁLLEGO	EST	15	12,5	244	160
		16	25,7	285	160
		17	42,3	352	160
		18	43,6	361	140
		19	43,8	362	160
		20	48,7	389	160
		21	49,6	388	145
TARDIENTA	EST	22	52,9	383	160
		23	57,2	382	155
		24	58,5	364	140
GRAÑÉN	EST	25	69	321	155
		26	70,5	316	145
		27	78,7	295	160
		28	89	306	160
		29	90,4	309	130
SARIÑENA	EST	30	90,9	310	160
		31	98,1	356	160
		32	100,5	405	155
		33	103,5	365	160
		34	103,9	359	110
		35	105	376	110
		36	108,4	357	155
		37	113,1	315	145
		38	117,4	254	160
		39	122,8	288	155
		40	124,6	270	145

		41	126,6	267	115
MONZÓN RÍO CINCA	EST	42	127,5	279	120
		43	128,5	288	120
		44	129,8	307	140
BINÉFAR	EST	45	133,5	347	160
		46	138,3	287	155

DIST EN km (DESDE ESTE PUNTO AL ANTERIOR)	LONGITUD (KM)	PDTE (%)	PDTE (‰)	ALTURAS A CORREGIR	ALTURA CORRECCIÓN (m)	PDTE (‰)
0,000	0	0,000	0,000		198,000	0,000
1,500	1,50	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,500	2,00	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,400	2,40	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,200	2,60	0,000	0,000	0	198,000	0,000
1,900	4,50	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,400	4,90	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,900	5,80	0,778	7,778	1	194,776	3,582
0,600	6,40	0,500	5,000	1	191,194	5,970
4,600	11,00	0,174	1,739	0	196,000	1,045
0,700	11,70	0,857	8,571	1	198,682	3,831
1,000	12,70	0,300	3,000	1	206,492	7,811
0,700	13,40	1,286	12,857	1	212,450	8,511
3,000	16,40	0,167	1,667	0	219,000	2,183
5,200	21,60	0,481	4,808	0	244,000	4,808
13,200	34,80	0,311	3,106	0	285,000	3,106
16,600	51,40	0,404	4,036	0	352,000	4,036
1,300	52,70	0,692	6,923	0	361,000	6,923
0,200	52,90	0,500	5,000	1	362,544	7,719
4,900	57,80	0,551	5,510	0	389,000	5,399
0,900	58,70	0,111	1,111	1	397,083	8,981
3,300	62,00	0,152	1,515	0	383,000	4,268
4,300	66,30	0,023	0,233	0	382,000	0,233
1,300	67,60	1,385	13,846	1	374,971	5,407
10,500	78,10	0,410	4,095	0	321,000	5,140
1,500	79,60	0,333	3,333	0	316,000	3,333
8,200	87,80	0,256	2,561	0	295,000	2,561
10,300	98,10	0,107	1,068	0	306,000	1,068
1,400	99,50	0,214	2,143	0	309,000	2,143
0,500	100,00	0,200	2,000	0	310,000	2,000
7,200	107,20	0,639	6,389	0	356,000	6,389
2,400	109,60	2,042	20,417	1	394,258	15,941

3,000	112,60	1,333	13,33 3	0	365,000	9,753
0,400	113,00	1,500	15,00 0	1	360,462	11,345
1,100	114,10	1,545	15,45 5	0	376,000	14,125
3,400	117,50	0,559	5,588	0	357,000	5,588
4,700	122,20	0,894	8,936	0	315,000	8,936
4,300	126,50	1,419	14,18 6	0	254,000	14,186
5,400	131,90	0,630	6,296	0	288,000	6,296
1,800	133,70	1,000	10,00 0	0	270,000	10,000
2,000	135,70	0,150	1,500	1	242,000	14,000
0,900	136,60	1,333	13,33 3	1	256,220	15,800
1,000	137,60	0,900	9,000	1	274,020	17,800
1,300	138,90	1,462	14,61 5	1	297,160	17,800
3,700	142,60	1,081	10,81 1	0	347,000	13,470
4,800	147,40	1,250	12,50 0	0	287,000	12,500

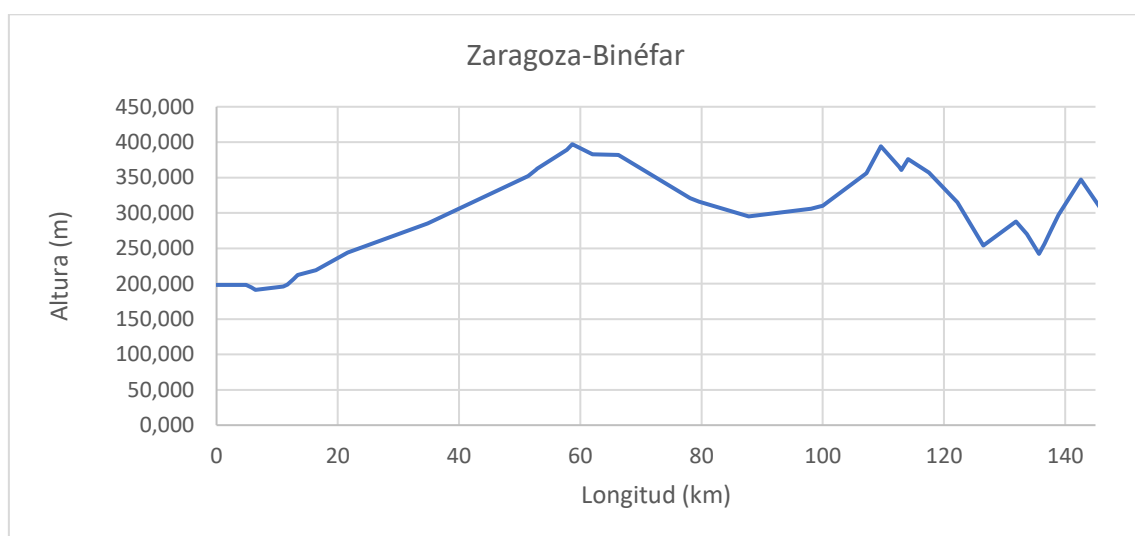


Figura 38. Variación de velocidad para la línea Zaragoza-Binéfar por ferrocarril, ida. Fuente: elaboración propia

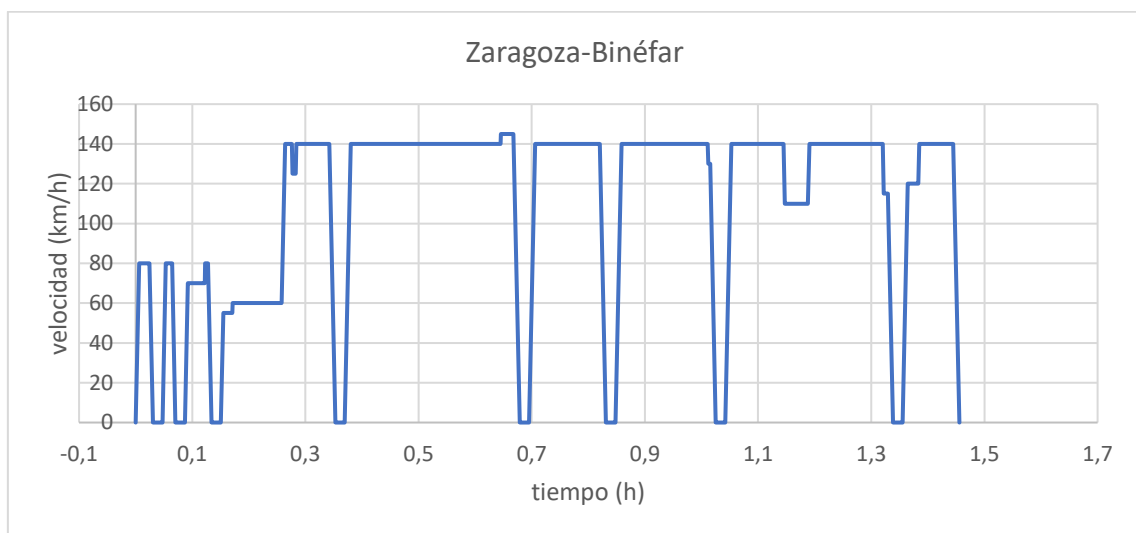


Figura 39. Variación de velocidades en la línea Zaragoza-Binéfar por ferrobús, ida. Fuente: elaboración propia

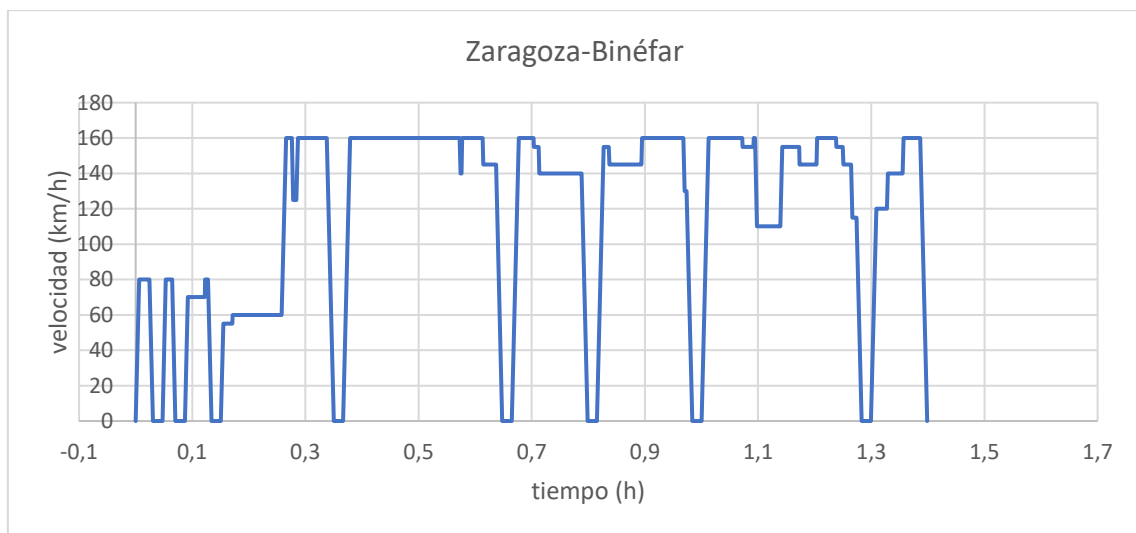


Figura 40. Variación de velocidades en la línea Zaragoza-Binéfar por automotor, ida. Fuente: elaboración propia

Obtención de las rutas y alturas en recorrido por carretera

Se decide no mostrar la columna velocidad por falta de interés ya que, han sido supuestas como únicamente variaciones de 0 a 60 y a 100 km/h

	ALTURA CORRECCIÓN (m)	PDTE(‰)
ZARAGOZA	211,000	5,2797
	212,000	5,2797
	200,004	7,3702
	196,000	1,7698
A1	219,400	10,5856
	235,730	14,0733
	255,964	3,5596
A2	269,178	7,0806
VILLANUEVA	261,630	5,5013
	266,100	5,2823

B100	264,800	5,8295
	286,027	8,4699
	312,576	3,7223
	308,226	0,5174
	352,404	3,9171
B2	382,000	1,9895
TARDIENTA	356,000	5,3541
C1	372,808	5,4446
	360,000	3,6227
	331,056	3,0895
C8	321,004	3,0477
GRAÑEN	321,894	1,9762
D0	318,420	3,2707
	319,453	0,2211
	273,606	4,8053
D9	299,822	2,6505
SARIÑENA	295,000	4,7182
E1	290,000	4,5537
	341,343	6,4277
	278,719	5,0614
	287,200	0,6171
E14	261,766	6,3250
MONZÓN	272,000	10,0333
F1	305,844	14,7148
F4	290,000	1,7661
BINEFAR	283,876	3,1433

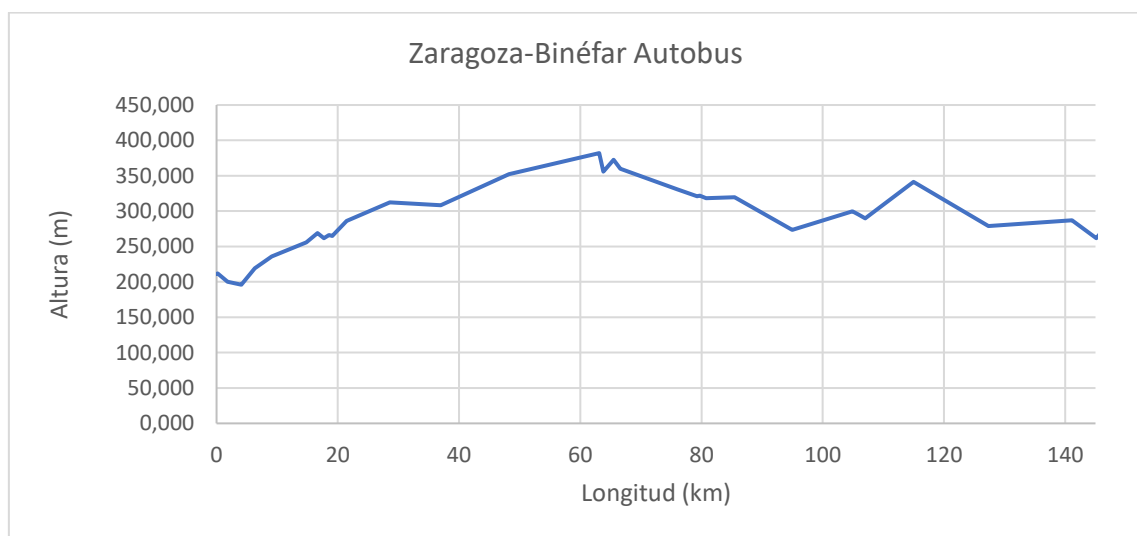


Figura 41. Perfil línea Zaragoza-Binéfar por carretera. Fuente: elaboración propia

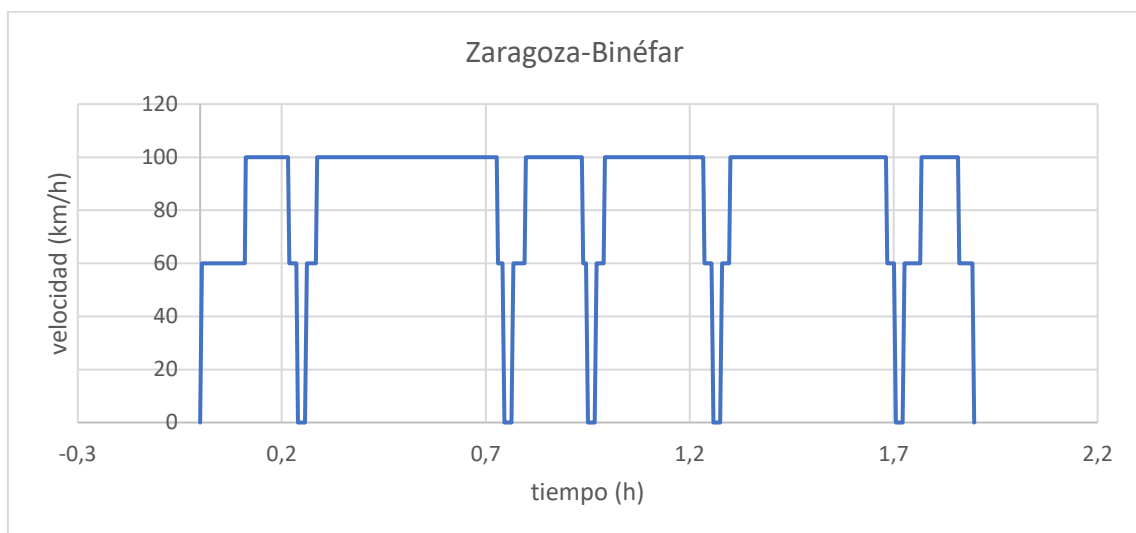


Figura 42. Variación de velocidades en la línea Zaragoza-Binéfar por autobús, ida. Fuente: elaboración propia

Para el tramo de vuelta la gráfica sería exactamente la misma a modo de espejo.

5.3.5 Línea 5: Zaragoza-Nonaspe

Obtención de las rutas y alturas en recorrido por ferrocarril

		PUNTO	KM	ALTURA (m)	V MAX PERMITIDA (km/h)
ZGZ-DELICIAS	EST	1	339,4	198	80
ZGZ-PORTILLO	EST	2	340,9	198	80
		3	341,4	198	80
ZGZ-GOYA	EST	4	341,8	198	70
		5	342	198	70
		6	343,9	198	80
MIRAFLORES	EST	7	344,3	198	55
		8	344,9	200	80
		9	345,6	202	110
		10	349,7	198	110
		11	351,1	208	110
		12	357,3	188	110
		13	362,9	179	125
FUENTES DE EBRO	EST	14	369	172	125
QUINTO	EST	15	384,4	154	125
		16	386,7	159	95
LA ZAIDA-SASTAGO	EST	17	396,8	164	105
		18	405,8	275	95
LA PUEBLA HIJAR	EST	19	412,6	251	130
		20	415,1	232	140
		21	418,4	256	115
		22	419,2	239	105
SAMPER	EST	23	422,1	286	115

		24	430,4	248	105
		25	434,3	212	120
		26	435,1	199	110
		27	442,7	135	120
		28	443,2	143	100
		29	447,7	148	110
		30	449,3	168	105
		31	451,3	138	110
		32	452	128	95
CASPE	EST	33	453	124	110
		34	463,9	231	95
VAL DE PILAS	EST	35	464,4	234	90
		36	465,3	224	90
		37	469,8	263	95
		38	470,2	264	80
FABARA	EST	39	470,6	263	95
		40	471,5	263	100
		41	471,9	249	95
		42	475,6	172	100
		43	476	192	90
NONASPE	EST	44	479,9	154	100

DIST EN KM (DESDE ESTE PUNTO AL ANTERIOR)	LONGITUD (KM)	PDTE (%)	PDTE (‰)	ALTURAS A CORREGIR	ALTURA CORRECCIÓN (m)	PDTE (‰)
0,000	0	0,000	0,000		198,000	0,000
1,500	1,50	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,500	2,00	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,400	2,40	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,200	2,60	0,000	0,000	0	198,000	0,000
1,900	4,50	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,400	4,90	0,000	0,000	0	198,000	0,000
0,600	5,50	0,333	3,333	1	199,440	2,400
0,700	6,20	0,286	2,857	0	202,000	3,657
4,100	10,30	0,098	0,976	0	198,000	0,976
1,400	11,70	0,714	7,143	1	207,010	6,436
6,200	17,90	0,323	3,226	0	188,000	3,066
5,600	23,50	0,161	1,607	0	179,000	1,607
6,100	29,60	0,115	1,148	0	172,000	1,148
15,400	45,00	0,117	1,169	0	154,000	1,169
2,300	47,30	0,217	2,174	0	159,000	2,174
10,100	57,40	0,050	0,495	0	164,000	0,495
9,000	66,40	1,233	12,333	0	275,000	12,333
6,800	73,20	0,353	3,529	0	251,000	3,529

2,500	75,70	0,760	7,600	0	232,000	7,600
3,300	79,00	0,727	7,273	0	256,000	7,273
0,800	79,80	2,125	21,250	1	247,686	10,393
2,900	82,70	1,621	16,207	0	286,000	13,212
8,300	91,00	0,458	4,578	0	248,000	4,578
3,900	94,90	0,923	9,231	0	212,000	9,231
0,800	95,70	1,625	16,250	1	202,119	12,351
7,600	103,30	0,842	8,421	0	135,000	8,831
0,500	103,80	1,600	16,000	1	140,166	10,331
4,500	108,30	0,111	1,111	0	148,000	1,741
1,600	109,90	1,250	12,500	1	160,974	8,109
2,000	111,90	1,500	15,000	0	138,000	11,487
0,700	112,60	1,429	14,286	0	128,000	14,286
1,000	113,60	0,400	4,000	1	109,734	18,266
10,900	124,50	0,982	9,817	0	231,000	11,125
0,500	125,00	0,600	6,000	1	237,313	12,625
0,900	125,90	1,111	11,111	1	251,899	16,207
4,500	130,40	0,867	8,667	0	263,000	2,467
0,400	130,80	0,250	2,500	1	264,307	3,267
0,400	131,20	0,250	2,500	0	263,000	3,267
0,900	132,10	0,000	0,000	0	263,000	0,000
0,400	132,50	3,500	35,000	1	262,363	1,592
3,700	136,20	2,081	20,811	0	201,987	16,318
0,400	136,60	5,000	50,000	1	209,151	17,910
3,900	140,50	0,974	9,744	1	154,000	14,141

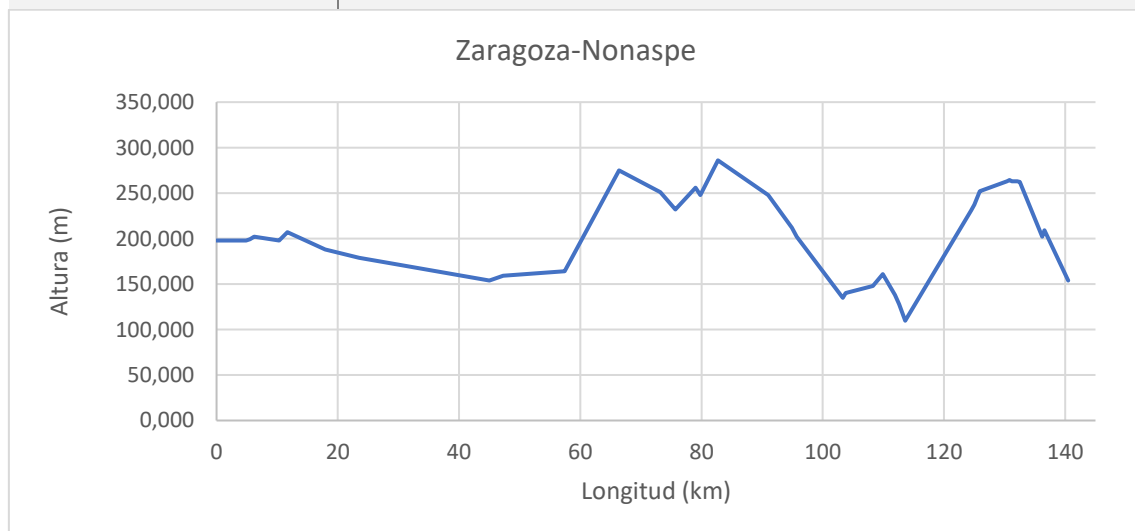


Figura 43. Perfil Zaragoza-Nonaspe por ferrocarril. Fuente: elaboración propia

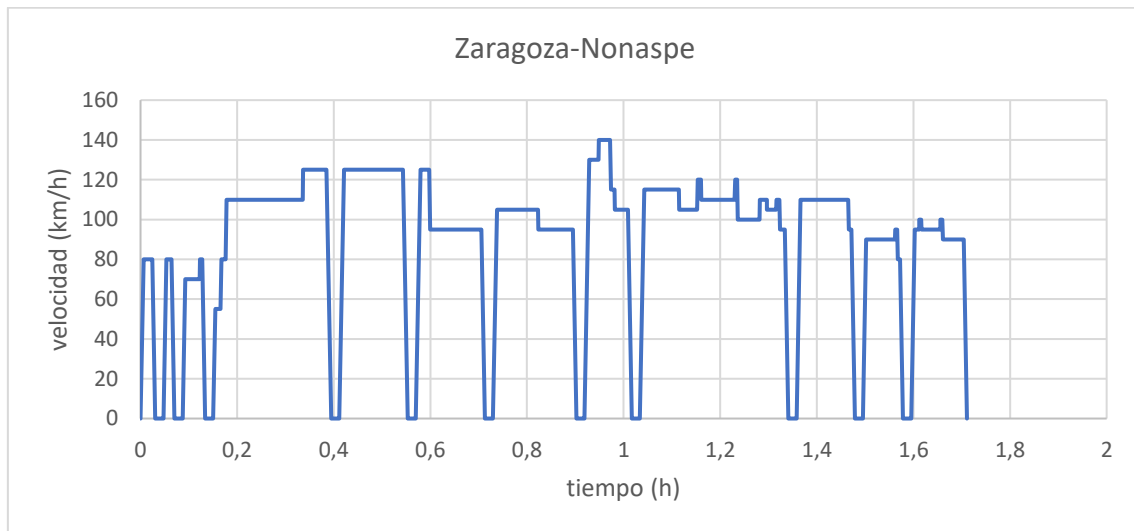


Figura 44. Variación de velocidades en la línea Zaragoza-Nonaspe por ferrobús y automotor, ida. Fuente: elaboración propia

Obtención de las rutas y alturas en recorrido por carretera

	ALTURA(m)	DIST EN KM (DESDE ESTE PUNTO AL ANTERIOR)
ZARAGOZA	211	0,000
	200,981	2,683
A	195,507	0,957
	188,569	12,649
B	180,168	10,032
FUENTES	187,896	0,735
C	185,686	0,902
D	161,937	14,443
QUINTO	156	0,902
E	159,442	1,017
F	155,962	11,479
ZAIDA	163,217	0,992
G	155,962	1,006
	234,033	16,771
H	235,54	21,316
PUEBLA HIJAR	255,586	0,474
I	252,619	0,309
J	232,01	10,674
SAMPER	255,278	0,507
K	240,384	0,556
	184,595	6,099
L	133,012	32,852
CASPE	162,66	0,946
M	117,377	3,007

	136,144	10,350
N	176,905	4,206
VAL DE PILAS	185,481	0,448
Ñ	197,664	0,517
	176,008	7,785
O	222,273	14,261
FABARA	249,44	0,678
P	239,698	0,698
Q	181,994	7,725
NONASPE	175,095	0,668

PDTE(%)	PDTE(%)	ALTURAS A CORREGIR	ALTURA CORRECCIÓN (M)	PDTE(%)
0,373	3,735	0	211,000	3,735
0,373	3,735	0	200,981	3,735
0,572	5,723	0	195,507	5,723
0,055	0,549	0	188,569	0,549
0,084	0,837	0	180,168	0,837
0,092	0,916	0	187,896	10,518
0,245	2,449	0	185,686	2,449
0,164	1,644	0	161,937	1,644
0,658	6,579	1	158,000	4,363
0,338	3,385	0	159,442	1,418
0,030	0,303	0	155,962	0,303
0,731	7,311	1	163,000	7,092
0,721	7,209	0	155,962	6,993
0,466	4,655	0	234,033	4,655
0,007	0,071	0	235,540	0,071
4,232	42,321	1	236,000	0,971
0,961	9,609	1	236,000	0,000
0,193	1,931	0	232,010	0,374
0,524	5,245	1	232,000	0,020
2,677	26,773	1	233,000	1,798
0,915	9,148	0	184,595	7,937
0,157	1,570	0	133,012	1,570
3,133	31,334	1	138,000	5,272
1,506	15,058	1	117,000	6,983
0,181	1,813	0	136,144	1,850
0,969	9,692	0	176,905	9,692
1,916	19,156	1	182,000	11,380
2,356	23,560	1	197,000	29,008
0,278	2,782	0	176,008	2,697
0,324	3,244	0	222,273	3,244
4,009	40,087	1	226,000	5,499

1,395	13,953	1	231,000	7,161
0,747	7,469	0	181,994	6,344
1,032	10,325	1	176,000	8,970

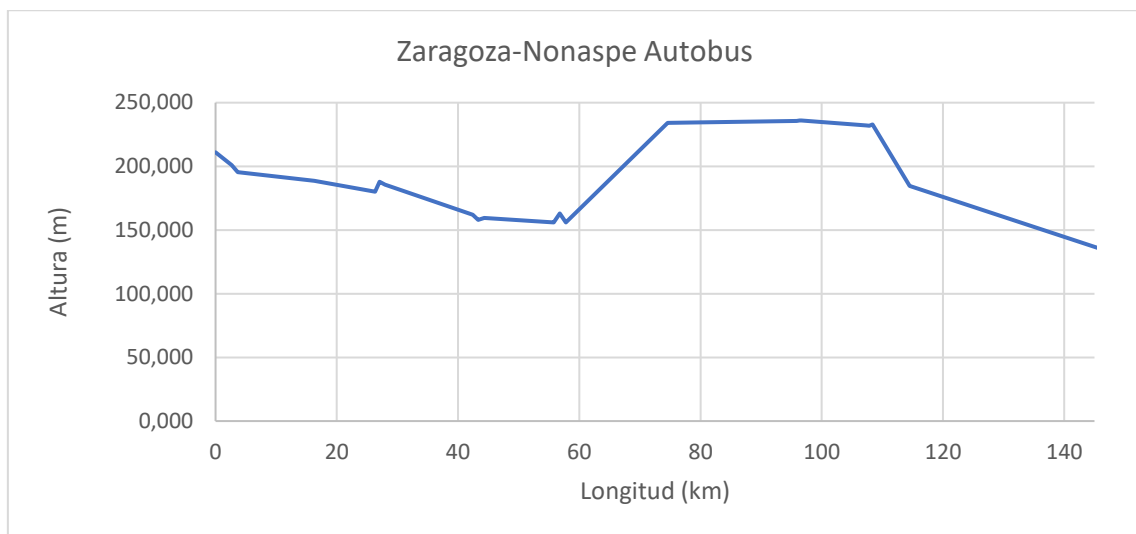


Figura 45. Perfil Zaragoza-Nonaspe por carretera. Fuente: elaboración propia.

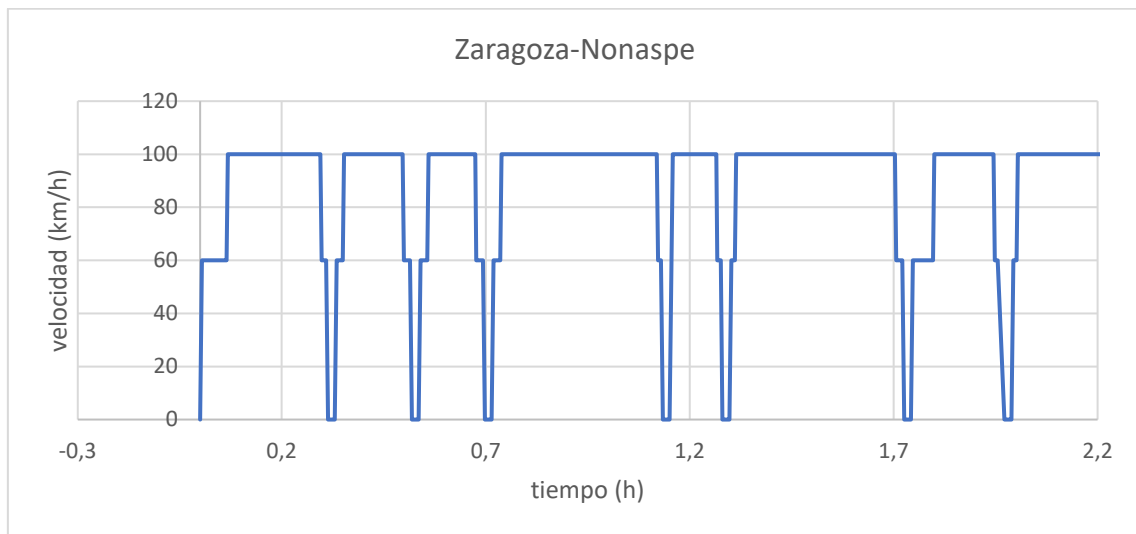


Figura 46. Variación de velocidades en la línea Zaragoza-Nonaspe, ida. Fuente: elaboración propia

5.3.6 Línea 6: Teruel-Rubielos de Mora

Obtención de las rutas y alturas en recorrido por ferrocarril

		PUNTO	KM	ALTURA (m)	V MAX PERMITIDA (km/h)
TERUEL	EST	1	132,2	878	50
		2	132,7	876	70
		3	135,9	928	80

		4	136,5	937	80
		5	137,6	956	80
		6	138,5	955	80
		7	139	990	55
		8	140,8	1001	80
		9	141,3	1014	70
		10	150,1	1221	75
PTO. ESCANDON	EST	11	150,6	1222	70
		12	158,4	1175	100
		13	158,9	1172	75
PUEBLA DE VALVERDE	EST	14	159,2	1168	100
		15	160,6	1160	100
		16	161	1149	75
		17	168	1150	100
SARRION	EST	18	172,7	990	75
MORA DE RUBIELOS	EST	19	178,9	930	75
RUBIELOS DE MORA	EST	20	182,9	939	75

DIST EN KM (DESDE ESTE PUNTO AL ANTERIOR)	LONGITUD (KM)	PDTE (%)	PDTE (‰)	ALTURAS A CORREGIR	ALTURA CORRECCIÓN (M)	PDTE (‰)
0,000	0	0,400	4,000		878,000	4,000
0,500	0,50	0,400	4,000	0	876,000	4,000
3,200	3,70	1,625	16,25	0	928,000	16,250
0,600	4,30	1,500	15,00	0	937,000	15,000
1,100	5,40	1,727	17,27	0	956,000	17,273
0,900	6,30	0,111	1,111	1	937,215	20,873
0,500	6,80	7,000	70,00	1	948,646	22,863
1,800	8,60	0,611	6,111	1	989,799	22,863
0,500	9,10	2,600	26,00	1	1002,225	24,853
8,800	17,90	2,352	23,52	0	1221,000	24,861
0,500	18,40	0,200	2,000	1	1233,430	24,861
7,800	26,20	0,603	6,026	0	1175,000	7,491
0,500	26,70	0,600	6,000	0	1172,000	6,000
0,300	27,00	1,333	13,33	1	1169,840	7,200
1,400	28,40	0,571	5,714	1	1159,760	7,200
0,400	28,80	2,750	27,50	1	1156,400	8,400
7,000	35,80	0,014	0,143	0	1150,000	0,914

4,700	40,50	3,404	34,04 3	1	1057,785	19,620
6,200	46,70	0,968	9,677	0	930,000	20,610
4,000	50,70	0,225	2,250	0	847,558	20,610

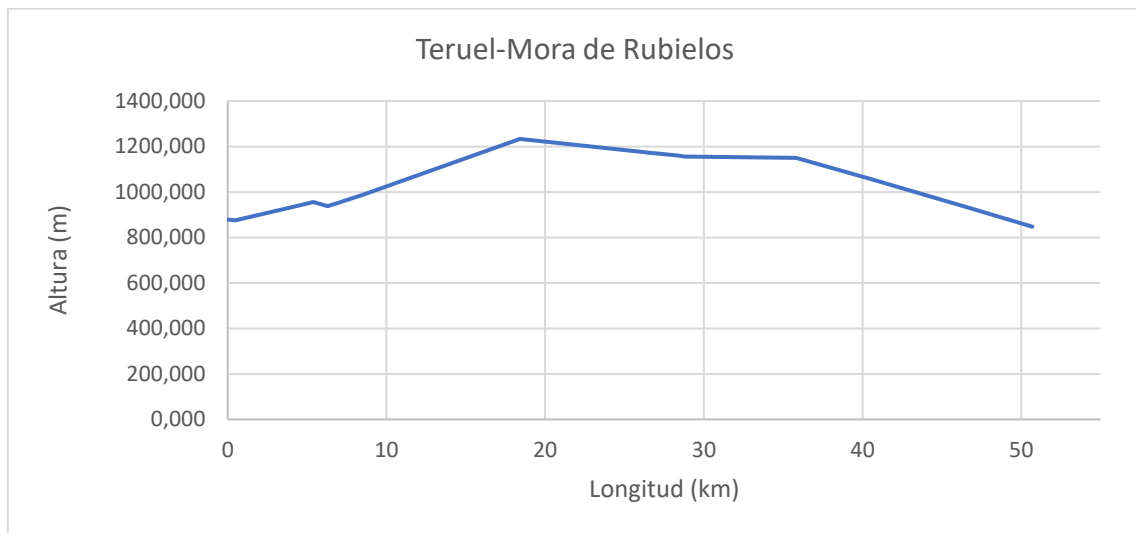


Figura 47. Perfil Teruel-Mora de Rubielos por ferrocarril. Fuente: elaboración propia

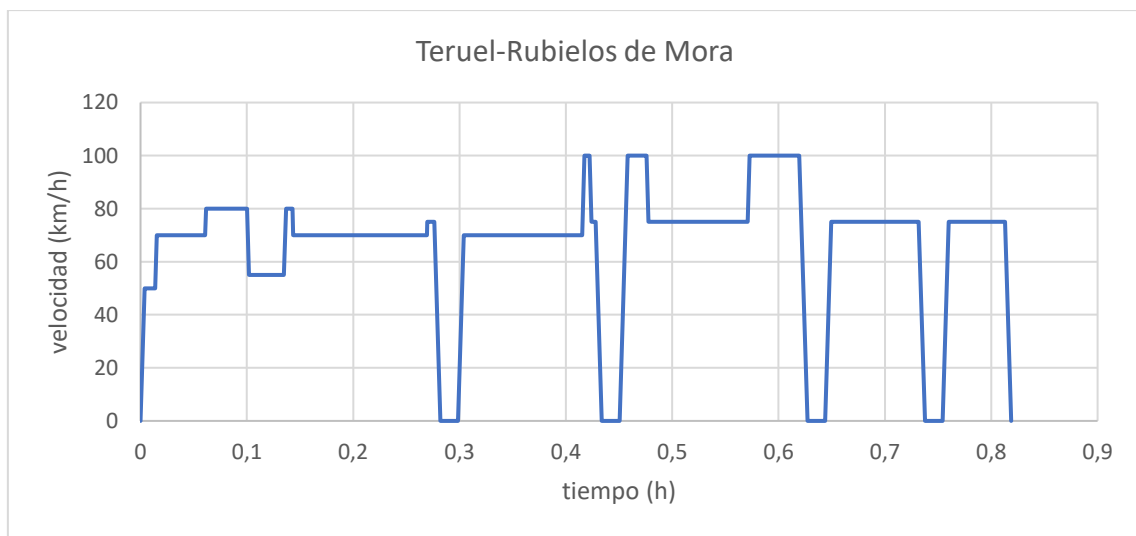


Figura 48. Variación de velocidades en la línea Teruel-Rubielos de Mora por ferrocarril, ida. Fuente: elaboración propia

Obtención de las rutas y alturas en recorrido por carretera

	ALTURA (m)	DIST EN KM (DESDE ESTE PUNTO AL ANTERIOR)
TERUEL	897,327	0,000
	931,956	1,000
A	952,196	0,567
	917,048	1,444
	1022,998	4,990

B	1216,468	10,456
PUERTO ESCANDON	1219,262	0,896
C	1214,075	0,859
	1169,328	2,809
D	1116,72	3,026
PUEBLA VALVERDE	1117,013	0,844
E	1107,498	0,707
	1153,205	2,517
F	973,399	12,009
SARRION	978,854	0,885
G	972,998	1,692
	888,564	3,305
	916,527	4,994
	973,338	5,001
H	1038,126	4,239
MORA DE RUBIELOS	1035,434	0,541
I	1033,83	0,792
	1105,48	2,425
	1101,652	2,014
J	958,600	6,505
RUBIELOS DE MORA	935,504	0,579

LONGITUD (KM)	PDTE (%)	PDTE (‰)	ALTURAS A CORREGIR	ALTURA CORRECCIÓN (M)	PDTE (‰)
0	3,462	34,617	0	897,327	34,617
1,000346	3,462	34,617	0	931,956	34,617
1,567565	3,568	35,683	0	952,196	35,683
3,011992	2,433	24,334	1	909,000	29,905
8,001766	2,123	21,233	0	1022,998	22,846
18,45798	2,864	28,636	0	1216,468	29,405
19,35443	0,312	3,117	1	1240,000	26,250
20,2135	0,604	6,038	0	1215,000	29,101
23,02219	1,593	15,932	0	1169,328	25,162
26,04812	1,739	17,386	0	1116,720	17,386
26,89196	0,035	0,347	1	1155,000	16,980
27,59857	1,347	13,466	1	1105,000	16,586
30,11603	1,816	18,156	0	1153,205	19,148
42,12534	1,497	14,972	0	973,399	14,972
43,00997	0,617	6,166	1	985,000	13,114
44,7024	0,346	3,460	0	972,998	7,092
48,0076	2,555	25,546	1	900,000	25,717

3.4 Resumen consumos y emisiones

Tabla resumen consumos:

CONSUMO (L/100KM)							
		oc max	oc vac	oc max	oc vac	oc max	oc vac
	IDA	FERROBUS	FERROBUS	AUTOMOTOR	AUTOMOTOR	AUTOBUS	AUTOBUS
L1	Calatayud-Monreal de Ariza	66,24	62,26	113,14	102,74	42,18	33,01
L2	Zaragoza-Gallur	66,56	62,68	105,01	96,20	39,40	30,80
L3	Huesca-Canfranc	34,28	31,86	58,66	53,66	33,83	26,62
L4	Zaragoza-Binéfar	41,58	39,72	63,60	58,19	36,83	29,10
L5	Zaragoza-Nonaspe	33,96	32,08	51,52	46,80	30,89	24,40
L6	Teruel-Rubielos de Mora	37,28	34,4	111,10	102,36	40,19	31,58

		OC MAX	OC VAC	OC MAX	OC VAC	OC MAX	OC VAC
	VUELTA	FERROBUS	FERROBUS	AUTOMOTOR	AUTOMOTOR	AUTOBUS	AUTOBUS
L1	Calatayud-Monreal de Ariza	42,54	39,7	68,32	62,48	35,00	27,24
L2	Zaragoza-Gallur	50,68	47,14	91,41	83,88	37,92	29,70
L3	Huesca-Canfranc	17,54	16,42	20,50	18,74	23,44	18,66
L4	Zaragoza-Binéfar	38,5	36,94	67,27	61,31	35,34	27,81
L5	Zaragoza-Nonaspe	40,08	37,54	76,90	58,52	31,77	25,14
L6	Teruel-Rubielos de Mora	29,16	27,16	88,64	82,04	37,16	29,32

En relación a la diferencia de consumos entre las líneas con el propio ferrobús se observa que: aun siendo más severo el terreno en Huesca-Canfranc, con tramos de pendientes muy elevadas frente al de Zaragoza-Gallur cuyo terreno es más bien llano, lo que penaliza al ferrobús es el tema de que en la línea Huesca-Canfranc las velocidades no son tan elevadas, de hecho, durante el 60% del recorrido se va a una velocidad entre 50-75 km/h (y de sus 141,5km de longitud, 34km los hace a 60km/h), frente a la línea Zaragoza-Gallur en la cual el 80% de su recorrido el ferrobús toma la velocidad de 140km/h. Esto influye principalmente en el valor de la resistencia aerodinámica y consecuentemente en el trabajo resistente, recordando que se calcula de la siguiente manera:

$$R_a = \frac{C_x \cdot Sup \cdot \left(\frac{v_2 + v_1}{2}\right)^2}{16}$$
, donde la velocidad al estar al cuadrado es muy influyente, sobre todo al tomar valores de velocidad mayores, por ejemplo. Tomando el factor $\left(\frac{v}{2}\right)^2$ siendo $v = 60\text{km/h} = 16,67\text{m/s}$ $\left(\frac{v}{2}\right)^2 = 69,4$, mientras que siendo $v = 140\text{km/h} = 38,88\text{m/s}$ $\left(\frac{v}{2}\right)^2 = 378,10$, siendo el segundo valor 5,4 veces mayor al primero.

Por otro lado, en la línea de Zaragoza-Gallur hay un total de 11 variaciones de velocidad (de una velocidad inferior a una superior), de los cuales 10 son debidos a las estaciones, pasando directamente de velocidad 0 a velocidad 140km/h en 6 de ellas. En cambio, en la línea Huesca-

Canfranc, hay 24 cambios de velocidad de los cuales 11 son debidos a las estaciones pasando de 0 a velocidades no tan elevadas (como 40-60-65-70km/h), y el resto son cambios de 5-10km/h entre velocidades que no son muy elevadas tampoco.

Esto extrapolado a 100 km, es un valor de 23,5 cambios de velocidad cada 100km para la línea de Zaragoza-Gallur, frente a 17 cambios de velocidad cada 100 km para la línea de Huesca-Canfranc. Es decir, en la primera línea hay más porcentaje de cambios de velocidad y además al ocurrir a velocidades más elevadas tienen mayor aportación a la energía cinética (ya que la velocidad está elevada al cuadrado), en cambio en la segunda línea hay menor porcentaje de cambios de velocidad además de tener lugar a velocidades inferiores.

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

Por ejemplo, tiene menor aportación pasar de 70 a 75 km/h (velocidades inferiores) que de 135 a 140km/h (velocidades superiores), ambas con la misma diferencia de 5km/h:

Para el caso de pasar de 70 a 75 km/h, considerando el factor $(v_2^2 - v_1^2)$ con v en m/s:
 $(20,83^2 - 19,44^2) = 55,97$

Y para pasar de 135 a 140km/h:

$$(38,88^2 - 37,5^2) = 105,40$$

Es decir, factor más influyente para velocidades superiores.

En conclusión, una mayor velocidad durante el recorrido se traduce en un mayor consumo, y es más influyente que lo severo o no que sea un trazado.

En las tablas se puede observar que el consumo del automotor es más elevado en comparación con los otros dos vehículos lógicamente porque pesa mucho más. Aparte, se sabe que el consumo medio de un autobús es entre 30-40 L/100km, por lo tanto, se ve que cumple, se ha calculado correctamente. Por otro lado, el consumo de ferrobús debería ser parecido al del autobús, bien es cierto que el autobús pesa menos pero el coeficiente de rodadura del ferrobús es un orden de magnitud inferior al del autobús. Se ve que se aproximan dichos valores, a excepción de las líneas 1 y 2. Y es que, se ha hecho la comparación de dos vehículos que no tienen la misma velocidad máxima, el ferrobús en las líneas 1 y 2 va a velocidades medias muy elevadas. Como se ha dicho antes el ferrobús en la línea 2 la mayor parte de su recorrido va a 140km/h, y en la línea 1 está entorno a los 150km/h, por tanto, como el autobús solo alcanza los 100km/h por eso el consumo ha salido más reducido.

Tabla resumen emisiones:

EMISIONES (T CO2/100KM)							
		oc max	oc vac	oc max	oc vac	oc max	oc vac
	IDA	FERROBUS	FERROBUS	AUTOMOTOR	AUTOMOTOR	AUTOBUS	AUTOBUS
L1	Calatayud-Monreal de Ariza	0,1768608	0,1662342	0	0	0,1126206	0,0881367
L2	Zaragoza-Gallur	0,1777152	0,1673556	0	0	0,105198	0,082236
L3	Huesca-Canfranc	0,0915276	0,0850662	0,1566222	0,1432722	0,0903261	0,0710754
L4	Zaragoza-Binefar	0,1110186	0,1060524	0	0	0,0983361	0,077697
L5	Zaragoza-Nonaspe	0,0906732	0,0856536	0	0	0,0824763	0,065148
L6	Teruel-Rubielos de Mora	0,0995376	0,091848	0,296637	0,2733012	0,1073073	0,0843186

EMISIONES (T CO2/100KM)							
		oc max	oc vac	oc max	oc vac	oc max	oc vac
	VUELTA	FERROBUS	FERROBUS	AUTOMOTOR	AUTOMOTOR	AUTOBUS	AUTOBUS
L1	Calatayud-Monreal de Ariza	0,1135818	0,105999	0	0	0,0727308	0,0727308
L2	Zaragoza-Gallur	0,1353156	0,1258638	0	0	0,1012464	0,079299
L3	Huesca-Canfranc	0,0468318	0,0438414	0,054735	0,0500358	0,0625848	0,0498222
L4	Zaragoza-Binefar	0,102795	0,0986298	0	0	0,0943578	0,0742527
L5	Zaragoza-Nonaspe	0,1070136	0,1002318	0	0	0,0848259	0,0671238
L6	Teruel-Rubielos de Mora	0,0778572	0,0725172	0,2366688	0,2190468	0,1073073	0,0843186

Las emisiones son proporcionales al consumo, a excepción del caso de automotor eléctrico cuyas emisiones son cero.

En el capítulo 7 se analizará el consumo por km y tonelada transportada, así como el consumo por km y viajero transportado.

6. Estudio de operativa y malla horaria según demanda de viajeros. Simulación.

Se recuerda el valor medio de pasajeros subidos en el tren durante cada línea.

L2_Zaragoza-Gallur. L a V = 15. S D F = 5

L3_Huesca-Canfranc. L a V = 6-7. S D F = 30

L4_Zaragoza-Binéfar. L a V = 15. S D F = 4

L5_Zaragoza-Nonaspe. Diario = 9

L6_Teruel-Rubielos de Mora. Diario = 5-7

De acuerdo con los horarios actuales de salida proporcionados por Renfe, se ha decidido establecer el mismo horario y número de ferrobuses en cada línea, puesto que como con el automotor se cubre bien la demanda porque es muy baja, para el ferrobús se va a cubrir igual de bien porque tiene capacidad más que suficiente.

Tipos de vías existentes: doble y única: si se tiene vía doble los cruces podrán realizarse entre las estaciones, en el caso de la vía única los trenes solo se cruzarán en las estaciones.

Línea1: Malla horaria Calatayud-Monreal de Ariza

De Calatayud a Monreal de Ariza tenemos vía doble luego los cruces podrán realizarse entre las estaciones.

La página de Renfe proporciona los horarios de salida del ferrocarril.

The image shows the Renfe website's search interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'Viajar', 'Experiencias', and 'Cercanías'. The Renfe logo is centered, and on the right, there are links for 'Ayuda' and 'Grupo Renfe'. Below the navigation bar, there is a search form. The 'Desde' field is set to 'CALATAYUD' and the 'Hasta' field is set to 'MONREAL DE ARIZA'. Below these fields, there are options for 'Ida y vuelta', '1 pasajero', and 'Código promocional'. There are also date pickers for 'jue., 24/11/22'. On the right side of the form, there is a checkbox for 'Trenes con plaza H' and a 'Buscar billete' button.

Figura 51. Interfaz de la página de Renfe, horarios. Fuente: renfe.com

IDA L-V y S-D: Salida a las 21:57

VUELTA L-V: Salida a las 7:02

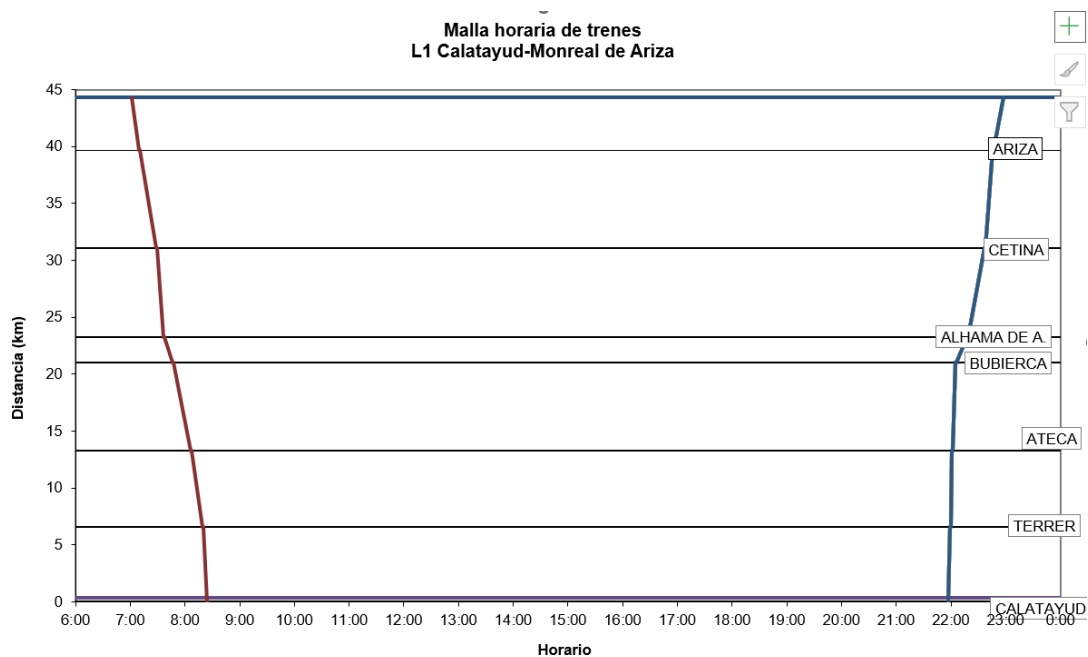


Figura 52. Malla horaria de trenes para la línea Calatayud-Monreal de Ariza de Lunes a Viernes. Fuente: elaboración propia

VUELTA S-D: Salida a las 9:02

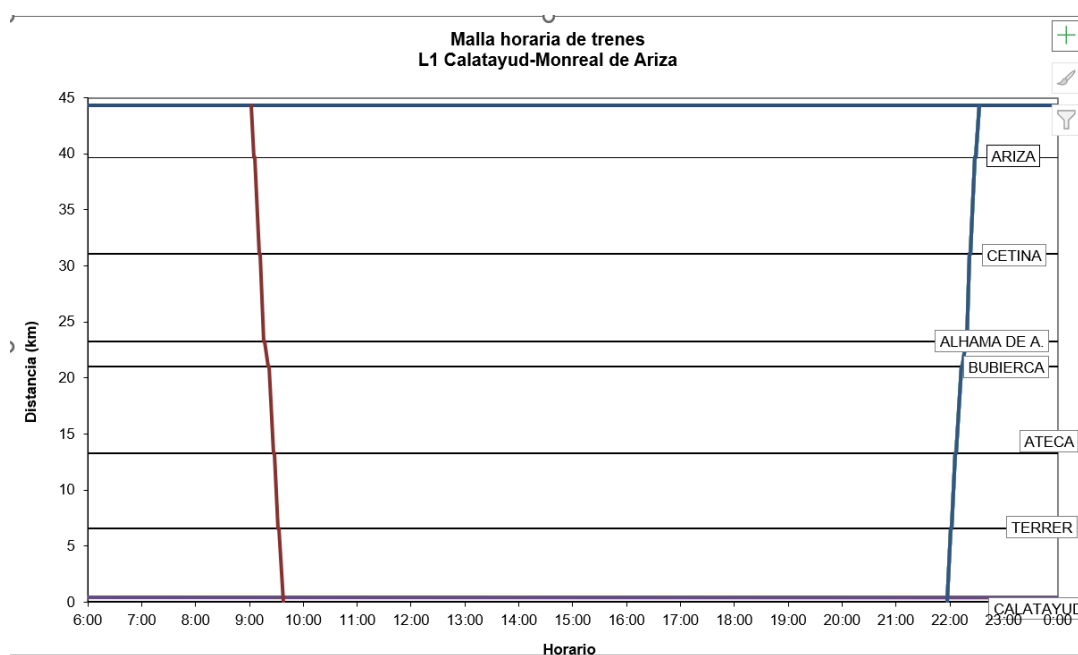


Figura 53. Malla horaria de trenes para la línea Calatayud-Monreal de Ariza durante fin de semana. Fuente: elaboración propia

Línea 2: Malla horaria Zaragoza-Gallur

Vía doble en todo su recorrido.

IDA L-V Y S-D: Salida a las 20:25

VUELTA L-V: Salida a las 7:02

De Lunes a Viernes:

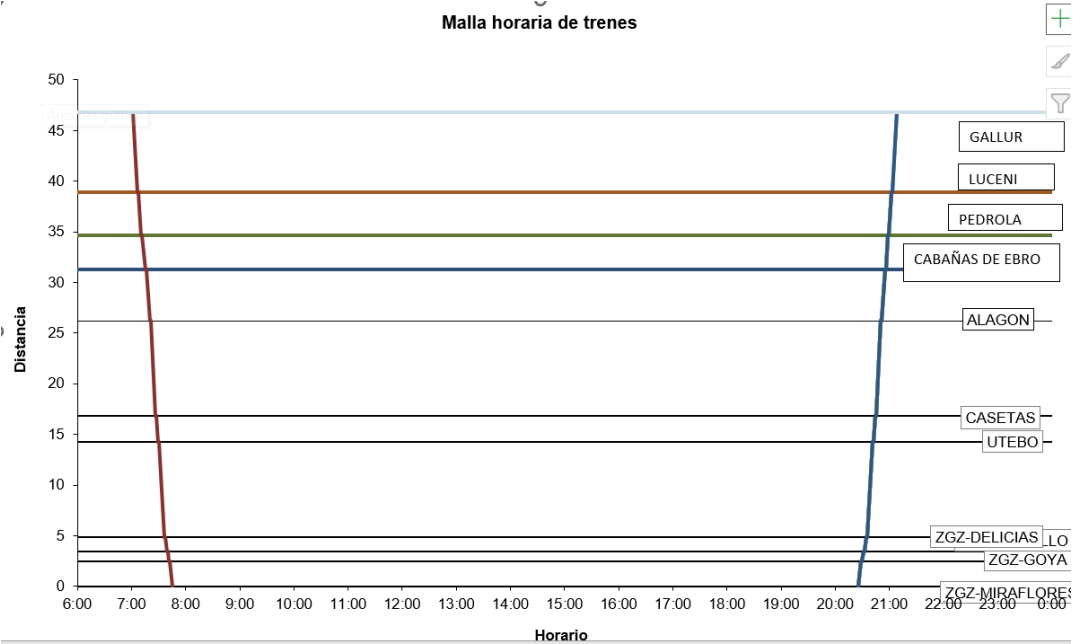


Figura 54. Malla horaria de trenes para la línea Zaragoza-Gallur de Lunes a Viernes. Fuente: elaboración propia

De Sábado a Domingo:

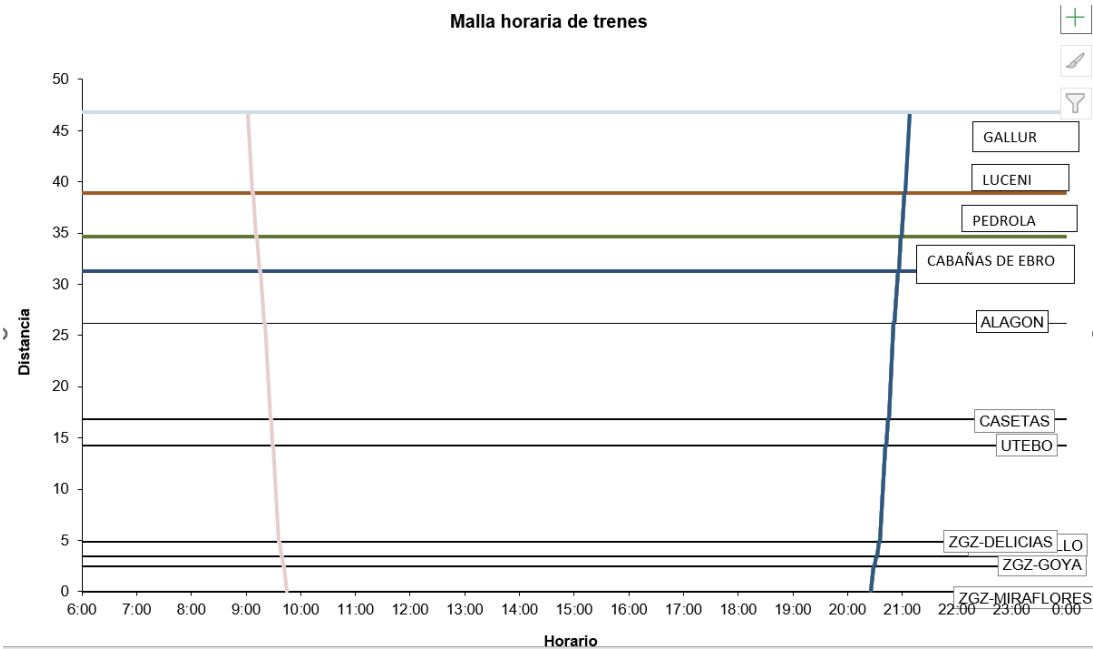


Figura 55. Malla horaria de trenes para la línea Zaragoza-Gallur durante fin de semana. Fuente: elaboración propia

Línea 3: Malla horaria de Huesca-Canfranc

Vía única en todo su recorrido

IDA L-V: Salida a las 9:51 y a las 16:50

VUELTA L-V: Salida a las 6:26 y a las 18:11

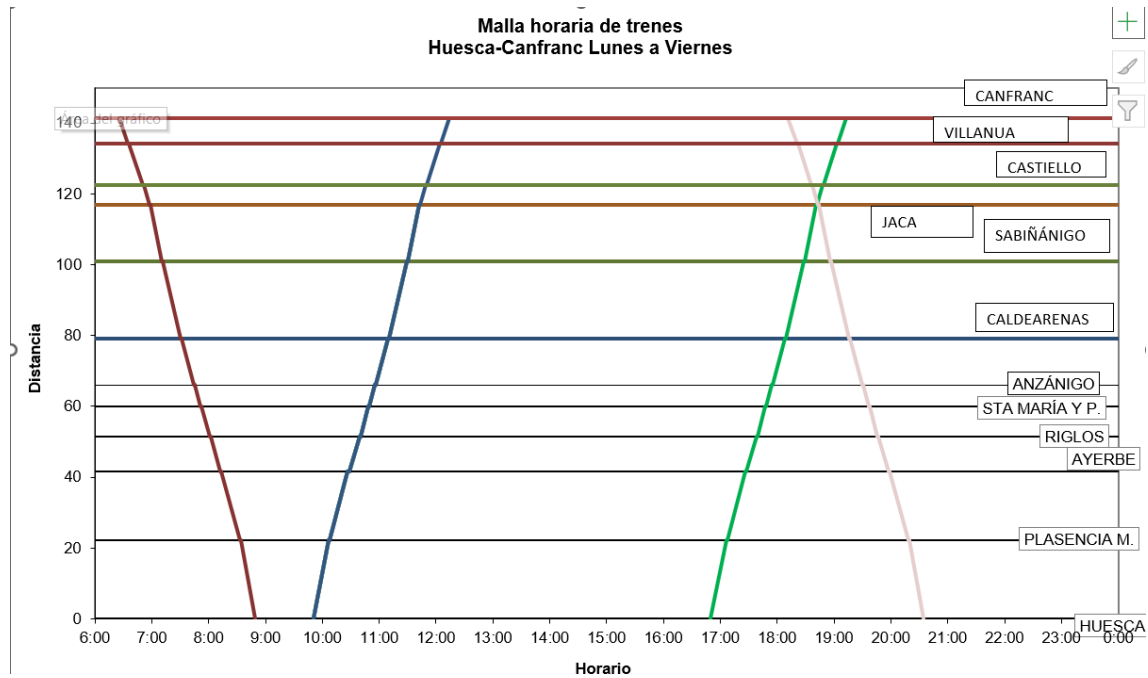


Figura 56. Malla horaria de trenes para la línea Huesca-Canfranc durante fin de semana. Fuente: elaboración propia

Como se tiene vía única los cruces deberán realizarse entre las estaciones. Como se puede observar, se ha calculado de manera que esto suceda, llevando a cabo las correcciones necesarias.

IDA S-D: Salida a las 7:55 y a las 16:50

VUELTA S-D: Salida a las 9:11 y a las 18:11

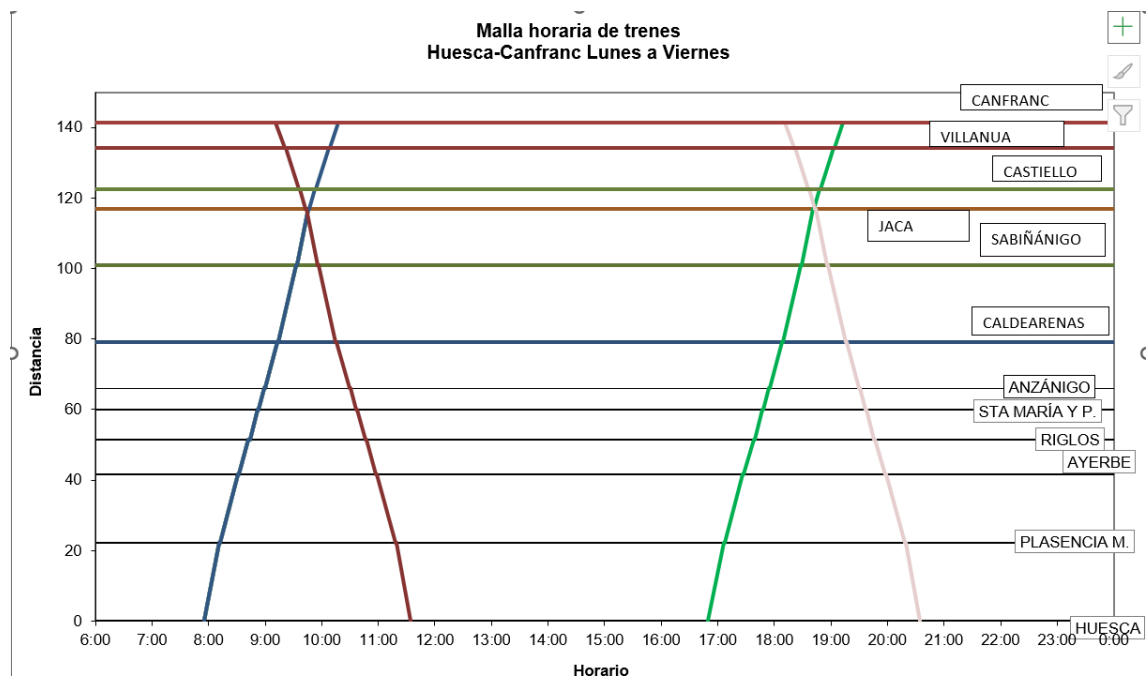


Figura 57. Malla horaria de trenes para la línea Huesca-Canfranc durante fin de semana. Fuente: elaboración propia

Línea 4: Malla horaria de Zaragoza-Binéfar: vía única

IDA L-V: Salidas a las 6:10, 15:15, y 20:12

VUELTA L-V: Salidas a las 6:59, 15:47 y 18:19

Se ejemplifica un caso de corrección por cruce:

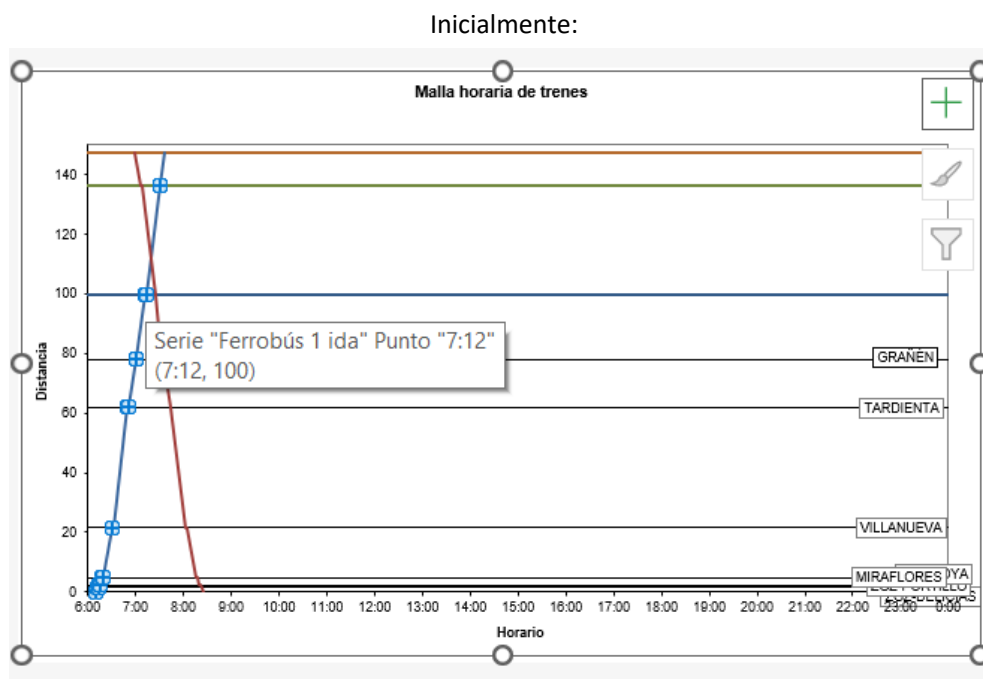


Figura 58. Dos ferrobuses en conflicto para la línea Zaragoza-Binéfar, de Lunes a Viernes. Fuente: elaboración propia

Como deben cruzarse en estación se ha aplicado una corrección obligando al primer ferrobús perteneciente al grupo vuelta, a cruzarse en la estación de Sariñena, con lo cual se debe adelantar su hora de salida a las 6:46, cuando antes era a las 6:59

Ferrobús 1 vuelta			
	distancia	tiempos	tiempo corrección
BINEFAR	147,4	6:59	6:46
MONZON	136,6	7:07	6:54
MONZON	136,6	7:08	6:55
SARIÑENA	100	7:25	7:12
SARIÑENA	100	7:26	7:13
GRAÑÉN	78,1	7:33	7:20
GRAÑÉN	78,1	7:34	7:21
TARDIENTA	62	7:43	7:30
TARDIENTA	62	7:44	7:31
VILLANUEVA	21,6	8:03	7:50
VILLANUEVA	21,6	8:04	7:51
MIRAFLORES	4,9	8:16	8:03
MIRAFLORES	4,9	8:17	8:04
ZGZ-GOYA	2,4	8:20	8:07
ZGZ-GOYA	2,4	8:21	8:08
ZGZ-PORTILLO	1,5	8:23	8:10
ZGZ-PORTILLO	1,5	8:24	8:11
ZGZ-DELICIAS	0	8:25	8:12

Figura 59. Interfaz de excel, corrección de la hora de salida. Fuente: elaboración propia

Tras la corrección:

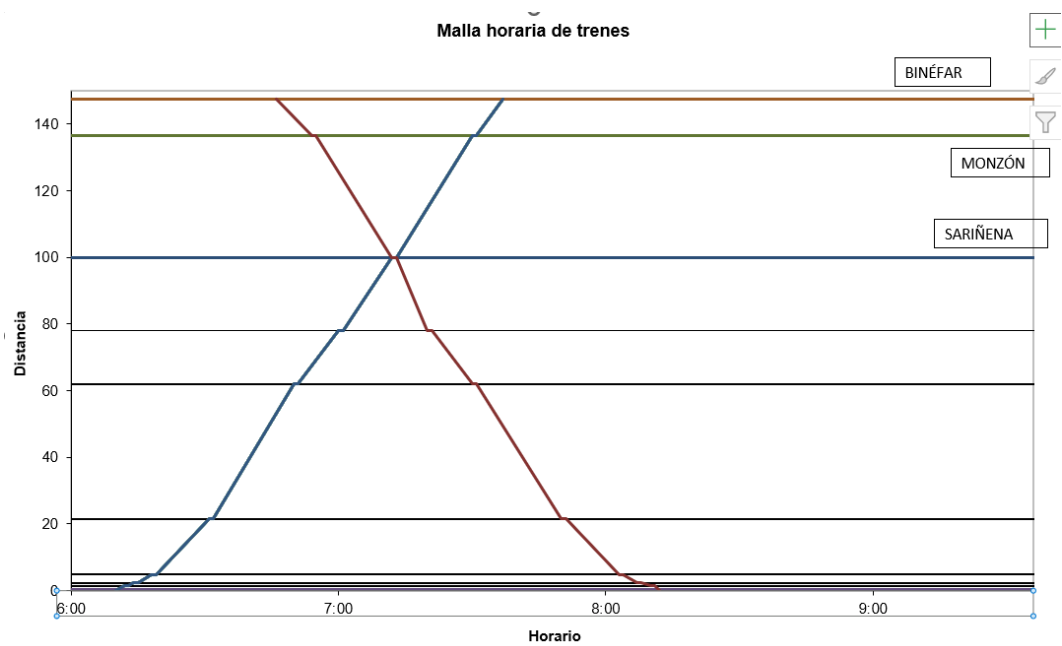


Figura 60. Ferrobuses ya no en conflicto, con cruce en estación de Sariñena. Fuente: elaboración propia

Finalmente, de Lunes a Viernes:

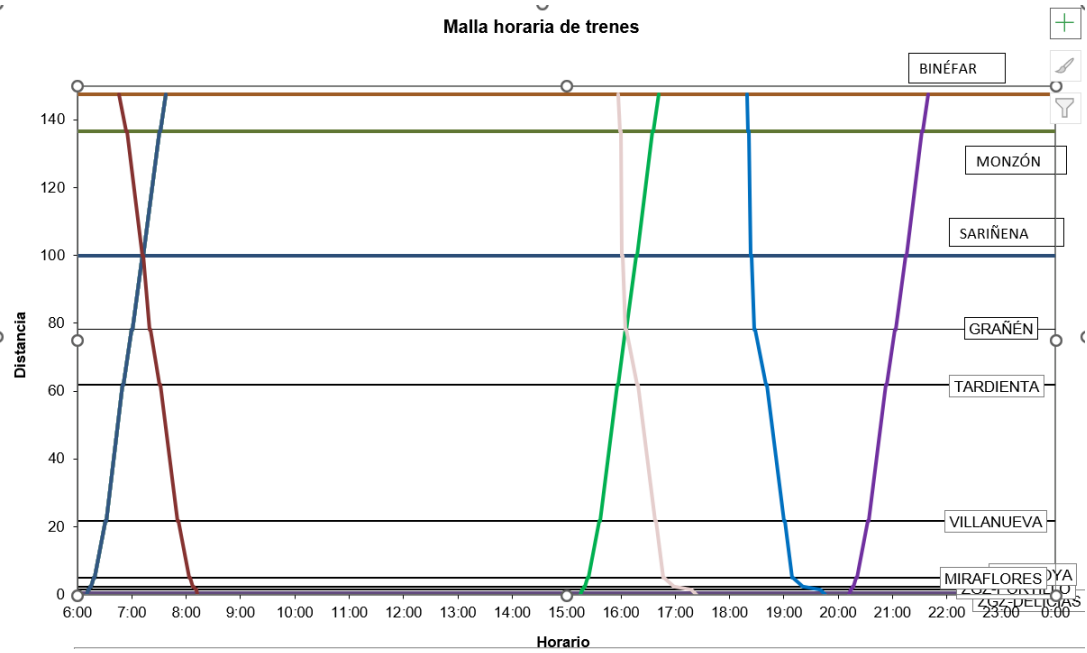


Figura 61. Malla horaria de trenes para la línea Zaragoza-Binéfár de Lunes a Viernes. Fuente: elaboración propia

De Sábados a Domingos:

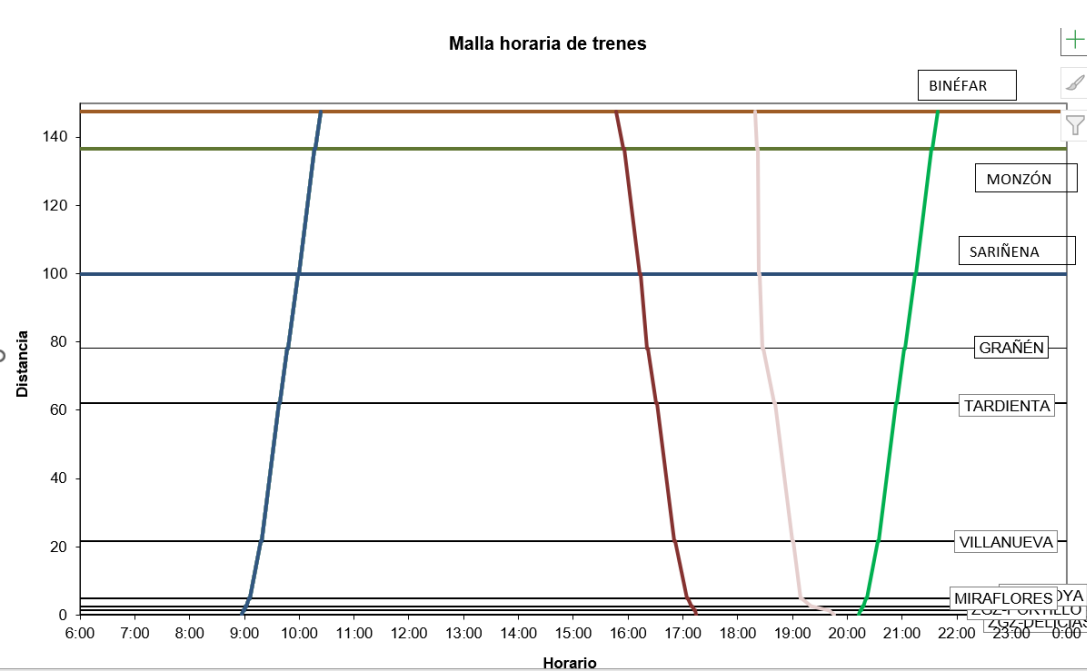


Figura 62. Malla horaria de trenes para la línea Zaragoza-Binéfár durante el fin de semana. Fuente: elaboración propia

Línea 5: Malla horaria de Zaragoza-Nonaspe: vía única

IDA L-V Y S-D: Salidas a las 11:24, 16:34 y 20:19

VUELTA L-V: Salidas a las 6:25, 12:06 y 19:19

Se cruzan dos ferrobuses:

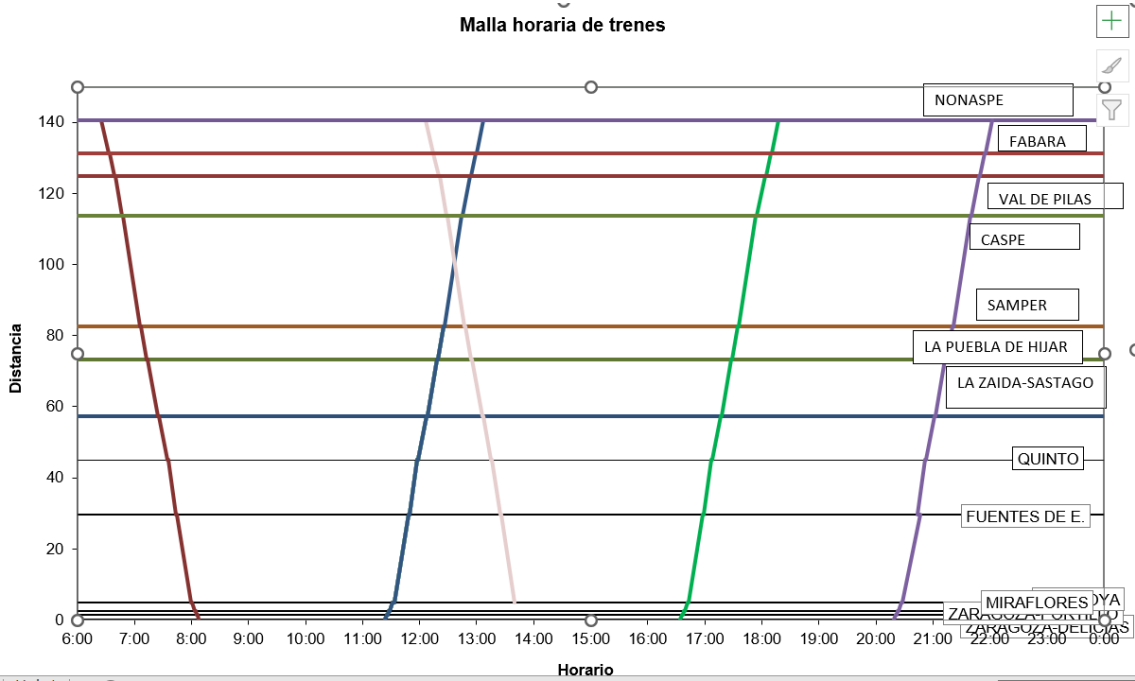


Figura 63. Conflicto de cruce de dos ferrobuses Lunes a Viernes en línea Zaragoza-Nonaspe. Fuente: elaboración propia

Se lleva a el segundo ferrobús del grupo vuelta a que pase a las 12:44 por la estación de Caspe que es donde pasaba el ferrobús 1 ida, así se soluciona el conflicto. Con lo cual ferrobús 2 grupo vuelta retrasa su salida a las 12:21, cuando antes salía a las 12:06.

Solucionado:

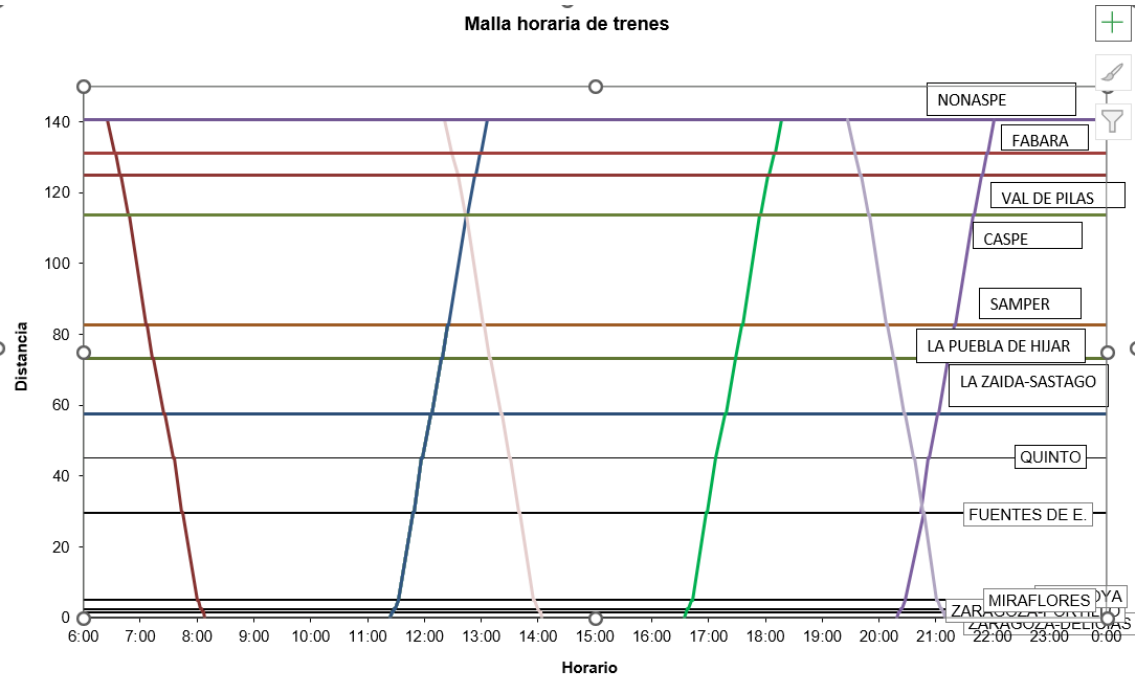


Figura 64. Malla horaria de trenes para la línea Zaragoza-Nonaspe de Lunes a Viernes. Fuente: elaboración propia

IDA S-D (LA MISMA QUE L-V)

VUELTA S-D: Salida a las 10:11, 12:06, y 19:19.

Finalmente:

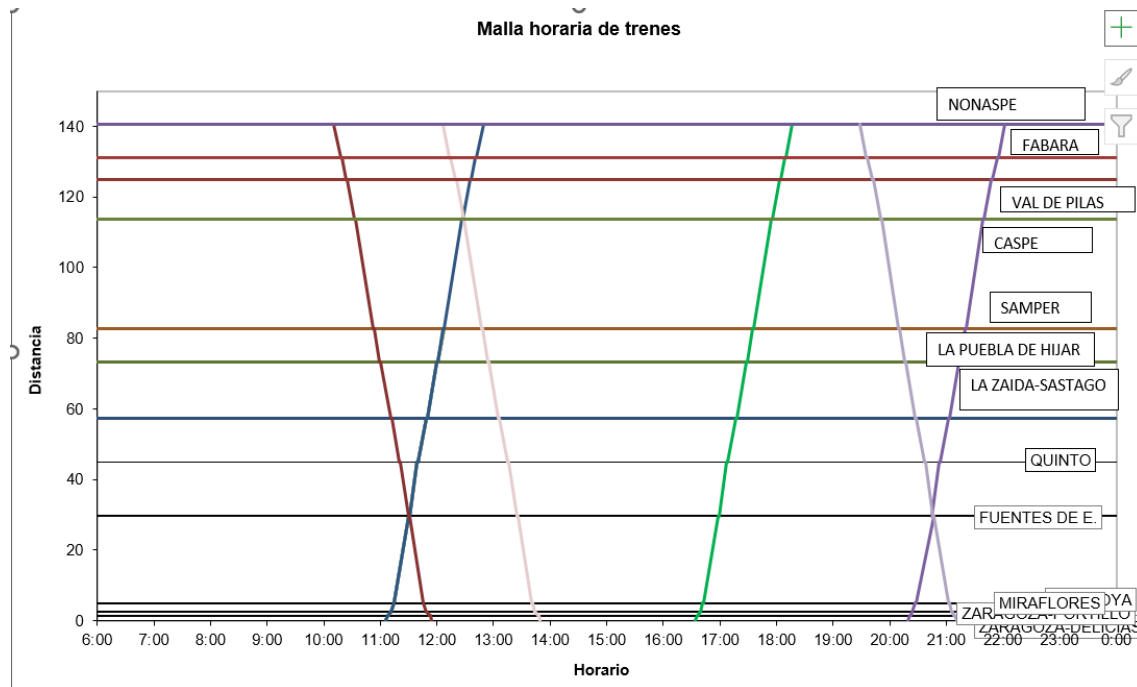


Figura 65. Malla horaria de trenes para la línea Zaragoza-Binéfar durante el fin de semana. Fuente: elaboración propia

Línea 6: Malla horaria de Teruel-Rubielos de Mora: vía única

IDA L-V: Salida a las 10:49

VUELTA L-V: Salida a las 11:20

IDA S-D igual que L-V

VUELTA S-D igual que L-V

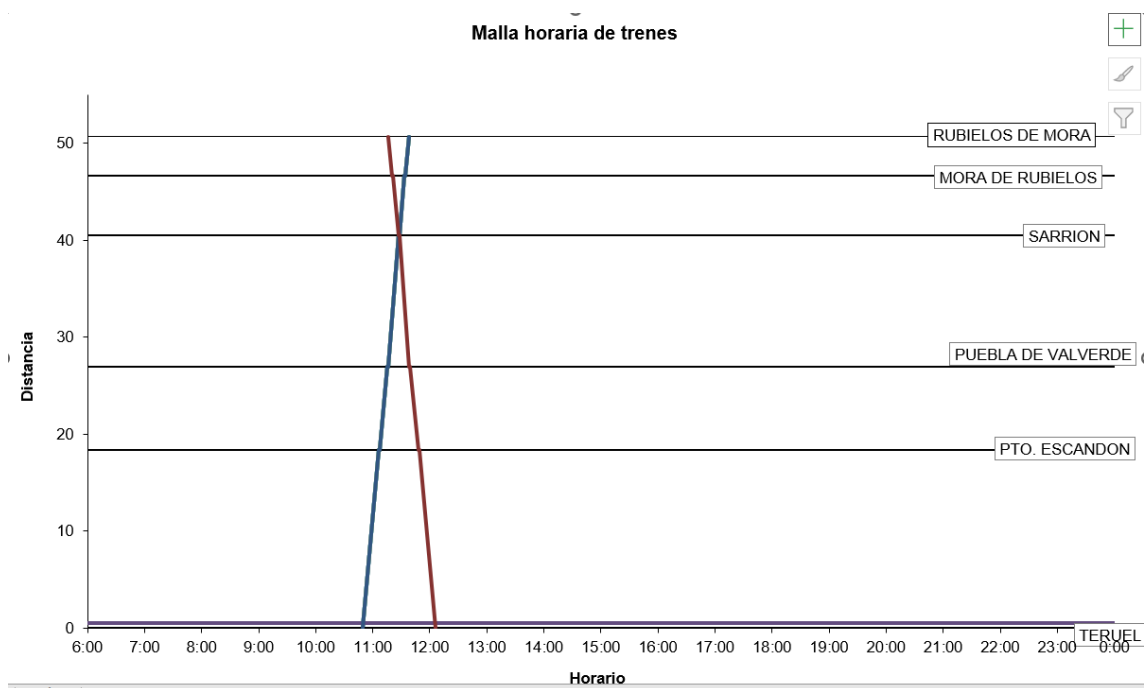


Figura 66. Malla horaria de trenes para la línea Zaragoza-Binéfar de Lunes a Domingo. Fuente: elaboración propia

Como se acaba de calcular el número de viajes al día y las vueltas correspondientes, se puede obtener el consumo total al día tanto para ferrobús como para automotor.

			CONSUMO (L/100KM)			
IDA	nº de trenes por línea/día(L-V)	nº de trenes por línea/día (S-D)	FERROBUS		AUTOMOTOR	
			L-V	S-D	L-V	S-D
CALATAYUD- MONREAL DE ARIZA	2	2	108,78	101,96	181,46	165,22
ZARAGOZA- GALLUR	2	2	117,24	109,82	196,42	180,07
HUESCA- CANFRANC	4	4	103,64	96,56	158,32	144,80
ZARAGOZA- BINEFAR	6	6	240,24	229,98	392,63	358,48
ZARAGOZA- NONASPE	6	6	222,12	208,86	385,26	315,96
TERUEL- RUBIELOS DE MORA	2	2	66,44	61,56	199,74	184,40

La relación es lineal porque multiplica el número de viajes al día por el consumo, pero es importante tener magnitud del valor total.

7. Análisis de costes, tanto de la inversión en material móvil como en consumos

Atendiendo a las imágenes:



Figura 68. TER. Fuente: <http://www.tgvetrofrance.com/>



Figura 67. S-470. Fuente: renfe.com

Evidentemente el coste de fabricación de uno y otro va a ser muy diferente atendiendo a las dimensiones y peso, mucho menor en el ferrobús.

No se ha encontrado el coste unitario de cada vehículo porque no se nos ha proporcionado.

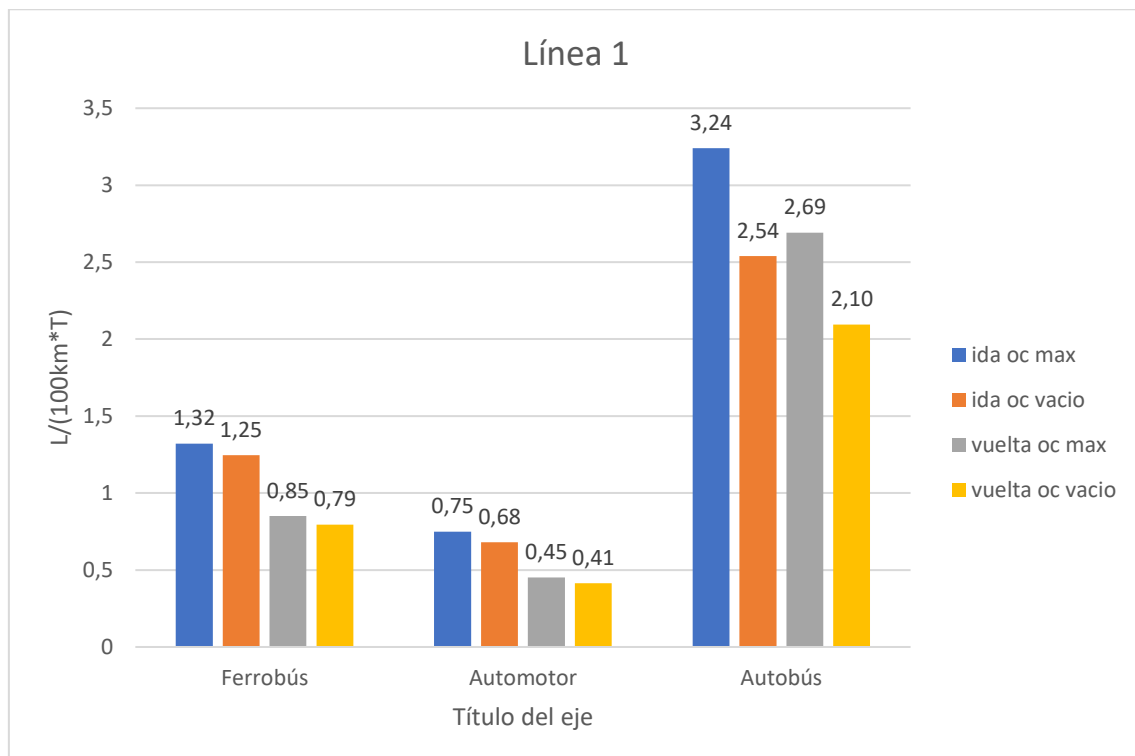


Figura 69. Consumo por km y por tonelada transportada para los tres vehículos en la línea Calatayud-Monreal de Ariza. Fuente elaboración propia

Si se representa el consumo por cada 100km y por tonelada transportada sale una ratio muy beneficiosa para el ferrobús ya que teniendo casi el cuádruple de peso que el autobús consume

parecido a este. Se ha representado a modo ejemplificativo para la línea Calatayud-Monreal de Ariza, *Figura 69*.

A nivel de consumo, si está moviendo muchas más toneladas que con el autobús y está dando el mismo servicio, la ganancia que hay en ahorro energético es importante.

De la misma manera ocurre en el resto de las gráficas para las líneas restantes.

En cambio, en el automotor se están falseando resultados, sale una ratio excelente, pero es que nunca se va a llegar a la situación de llenar al máximo su capacidad, su porcentaje de ocupación es muy bajo, y el consumo de litros por kilómetro es muchísimo más elevado que para el ferrobús y autobús. Y ello implica un mayor coste.

Eso se puede reflejar en la siguiente gráfica donde se representan los litros por km y por unidad de pasajero.

De Lunes a viernes:

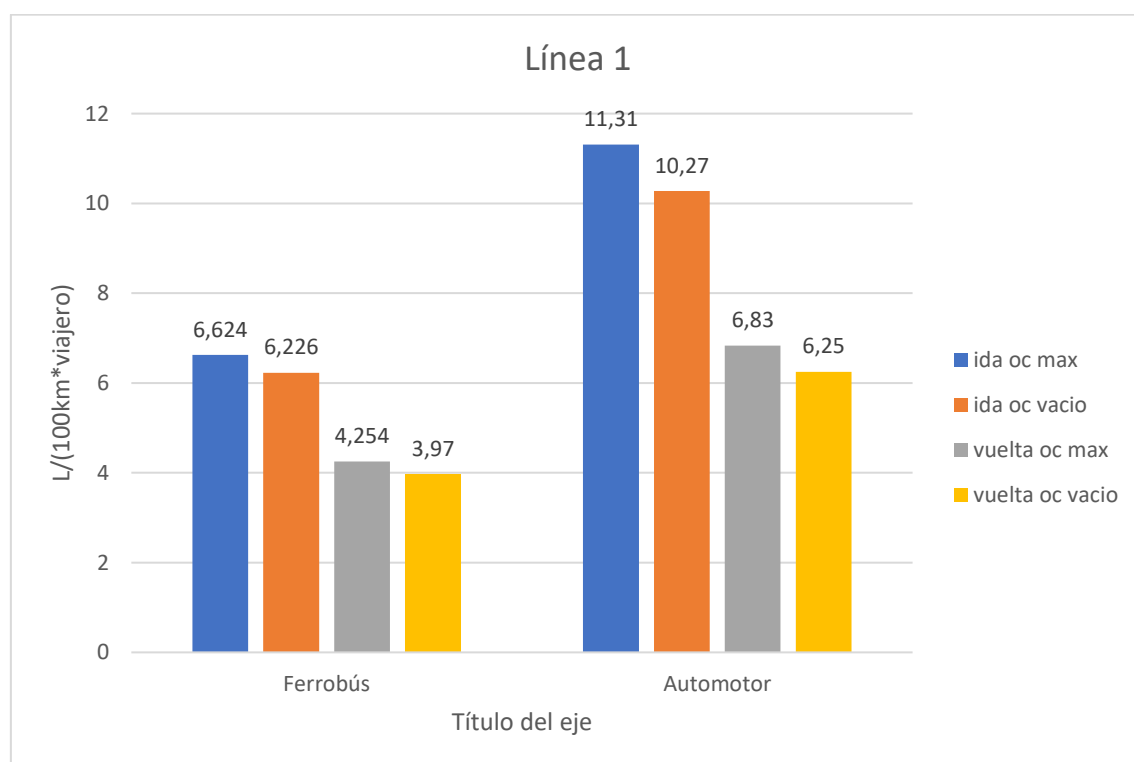


Figura 70. Consumo por km y por viajero transportado para los tres vehículos en la línea Calatayud-Monreal de Ariza. Fuente elaboración propia

Para el resto de líneas se completan los datos con gráficas y tablas.

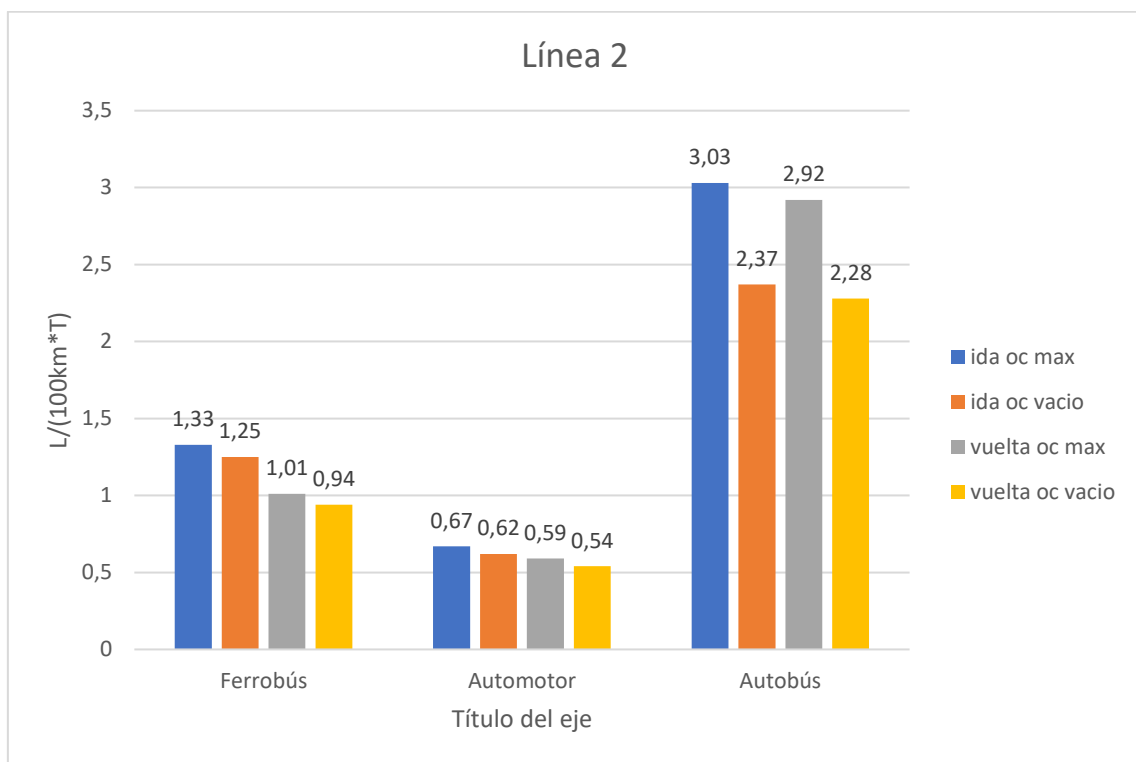


Figura 71. Consumo por km y por tonelada transportada para los tres vehículos en la línea Zaragoza-Gallur. Fuente elaboración propia

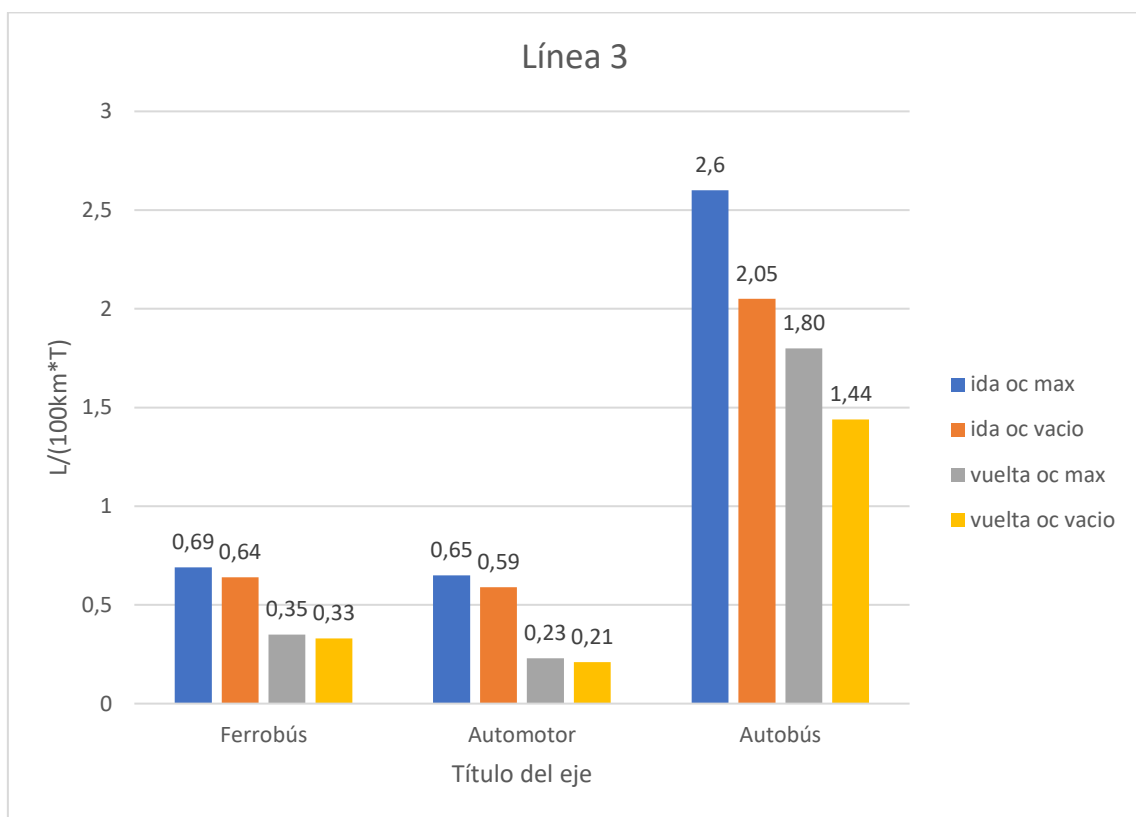


Figura 72. Consumo por km y por tonelada transportada para los tres vehículos en la línea Huesca-Canfranc. Fuente elaboración propia

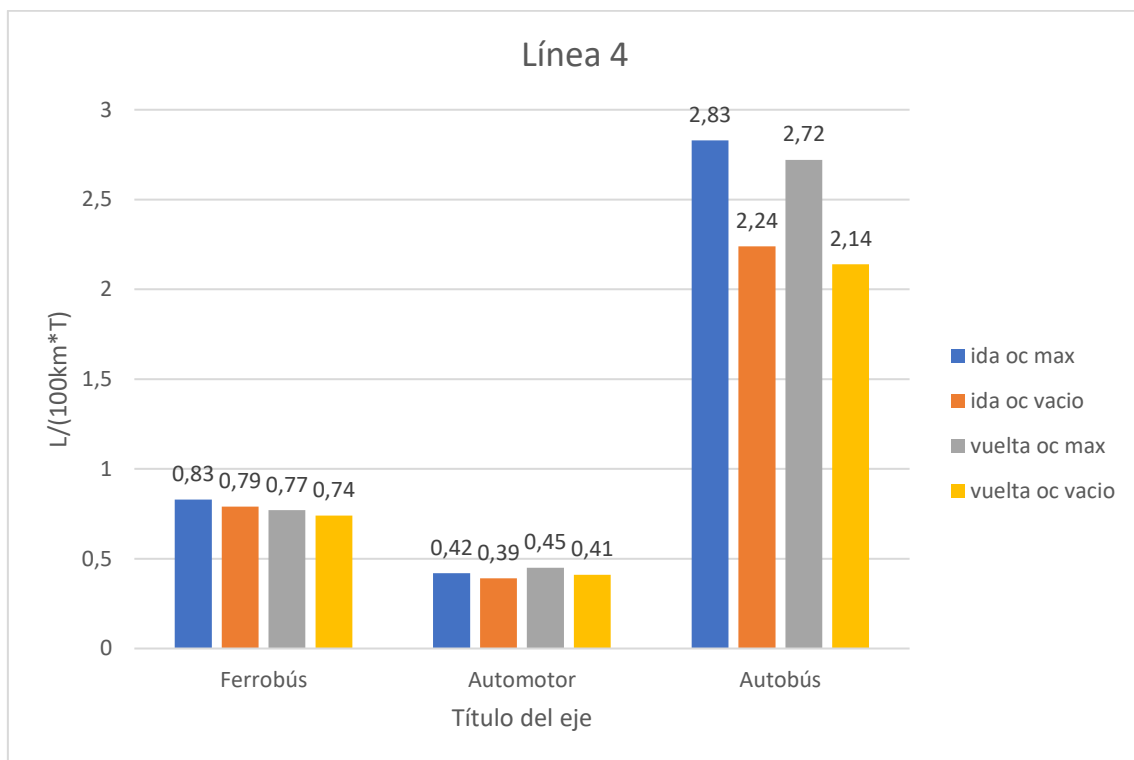


Figura 73. Consumo por km y por tonelada transportada para los tres vehículos en la línea Zaragoza-Binéfar. Fuente elaboración propia

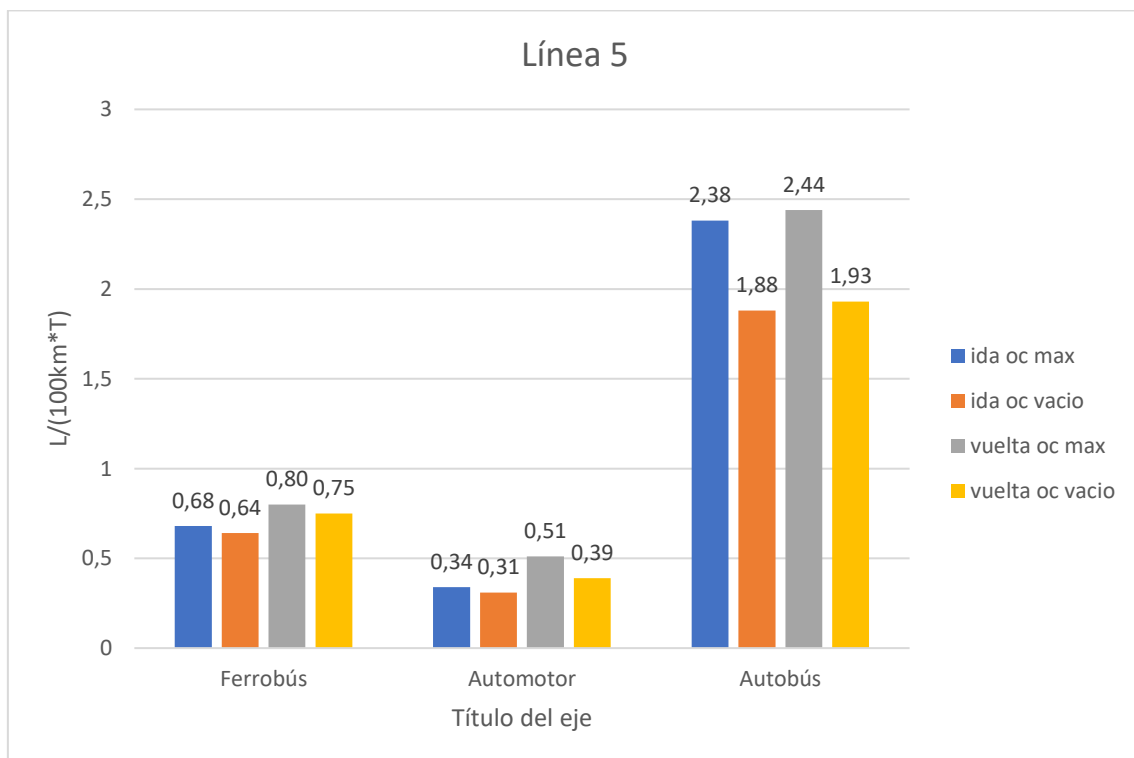


Figura 74. Consumo por km y por tonelada transportada para los tres vehículos en la línea Zaragoza-Nonaspe. Fuente elaboración propia

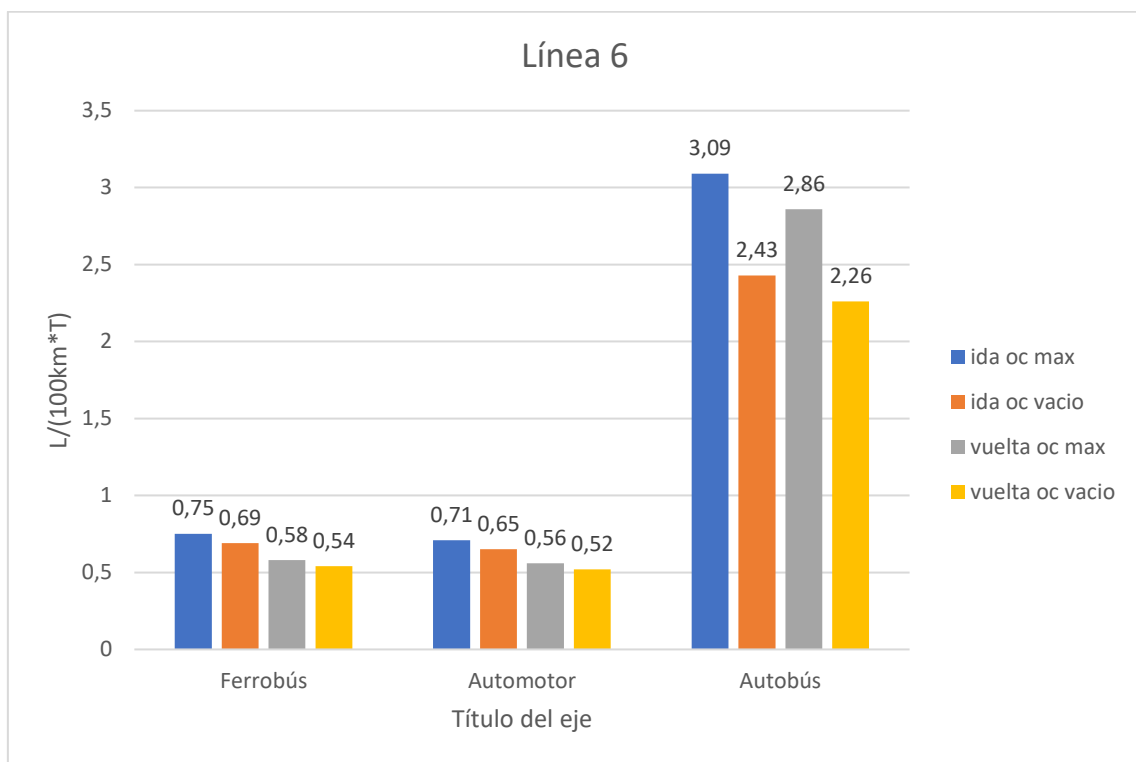


Figura 75. Consumo por km y por tonelada transportada para los tres vehículos en la línea Teruel-Rubielos de Mora. Fuente elaboración propia

IDA	L/(100km*viajero)											
	FERROBUS				AUTOMOTOR				AUTOBUS			
	L-V oc max	S-D oc max	L-V oc vacío	S-D oc vacío	L-V oc max	S-D oc max	L-V oc vacío	S-D oc vacío	L-V oc max	S-D oc max	L-V oc vacío	S-D oc vacío
L1	6,62	33,12	6,23	31,13	11,31	56,57	10,27	51,37	4,22	21,09	3,30	16,51
L2	4,44	13,31	4,18	12,54	7,00	21,00	6,41	19,24	2,63	7,88	2,05	6,16
L3	4,90	1,14	4,55	1,06	8,38	1,96	7,67	1,79	4,83	1,13	3,80	0,89
L4	2,77	10,40	2,65	9,93	4,24	15,90	3,88	14,55	2,46	9,21	1,94	7,28
L5	3,77	3,77	3,56	3,56	5,72	5,72	5,20	5,20	3,43	3,43	2,71	2,71
L6	6,21	6,21	5,73	5,73	18,52	18,52	17,06	17,06	6,70	6,70	5,26	5,26

Figura 76. Consumo por km y por viajero transportado para los tres vehículos en todas las líneas, en la ida. Fuente elaboración propia

VUELTA	L/(100km*viajero)											
	FERROBUS				AUTOMOTOR				AUTOBUS			
	L-V oc max	S-D oc max	L-V oc vacío	S-D oc vacío	L-V oc max	S-D oc max	L-V oc vacío	S-D oc vacío	L-V oc max	S-D oc max	L-V oc vacío	S-D oc vacío
L1	4,25	21,27	3,97	19,85	6,83	34,16	6,25	31,24	3,50	17,50	2,72	13,62
L2	3,38	10,14	3,14	9,43	6,09	18,28	5,59	16,78	2,53	7,58	1,98	5,94
L3	2,51	0,58	2,35	0,55	2,93	0,68	2,68	0,62	3,35	0,78	2,67	0,62
L4	2,57	9,63	2,46	9,24	4,48	16,82	4,09	15,33	2,36	8,84	1,85	6,95
L5	4,45	4,45	4,17	4,17	8,54	8,54	6,50	6,50	3,53	3,53	2,79	2,79
L6	4,86	4,86	4,53	4,53	14,77	14,77	13,67	13,67	6,19	6,19	4,89	4,89

Figura 77. Consumo por km y por viajero transportado para los tres vehículos en todas las líneas, en la vuelta. Fuente elaboración propia

8. Previsiones de tráficos futuros. Comercialización.

8.1 Transporte mixto de mercancías y viajeros por ferrocarril

La finalidad de esta propuesta sería integrar el transporte de mercancías en los servicios de viajeros que presta el ferrobús, que no deja de ser servicios rurales. Esto viene a ser un concepto novedoso en el uso del ferrocarril.

8.2. Transporte turístico por ferrocarril

Otra propuesta sería la integración del transporte turístico en servicios de viajeros regulares. Sería necesario múltiples estaciones de parada, así como vehículos ligeros para el acceso y salida. Por supuesto también la integración con agencias locales de turismo.

La velocidad tendría que ser más bien lenta ya que hablamos de transporte turístico, y con regularidad continua. Y proporcionar información en tiempo real a los usuarios.

9. Conclusiones

Queda retratado que el ferrobús es la mejor opción para llevar a cabo este proyecto.

En comparación con el automotor, hay que tener en cuenta que el trazado del terreno es el mismo, es decir, la longitud y pendiente de las líneas es la misma, la demanda potencial es la misma y las velocidades prácticamente iguales también, excepto en algún tramo de ciertas líneas en las que el automotor se pone a 160km/h. Es decir, la duración del trayecto con automotor se va a reducir solo en algunas líneas y mínimamente ya que no se está yendo durante todo el recorrido a esa velocidad, sino pequeños tramos. Se quiere decir con esto que la duración del trayecto no es relevante en esta comparación. La única diferencia es el número de plazas: 61 para el ferrobús y en torno a 200 para los diferentes automotores. Con lo cual en un trayecto idéntico y que se va a hacer en el mismo tiempo, ¿por qué elegir ferrobús frente a automotor entonces?

Porque el ferrobús está consumiendo muchos menos litros por cada 100km, y su ratio en cuanto a viajero transportado es también mucho más beneficioso. Es más beneficioso porque con una capacidad máxima de 60 plazas se está cubriendo perfectamente con la demanda. Al igual que el automotor, este obviamente también cumplía, pero precisamente porque es un vehículo de muchas plazas, muchas plazas que no van a ser utilizadas, su porcentaje de ocupación es muy bajo. Por eso el porcentaje de ocupación del ferrobús es más alto, se cubrirán las mismas necesidades y además consumiendo muchísimo menos.

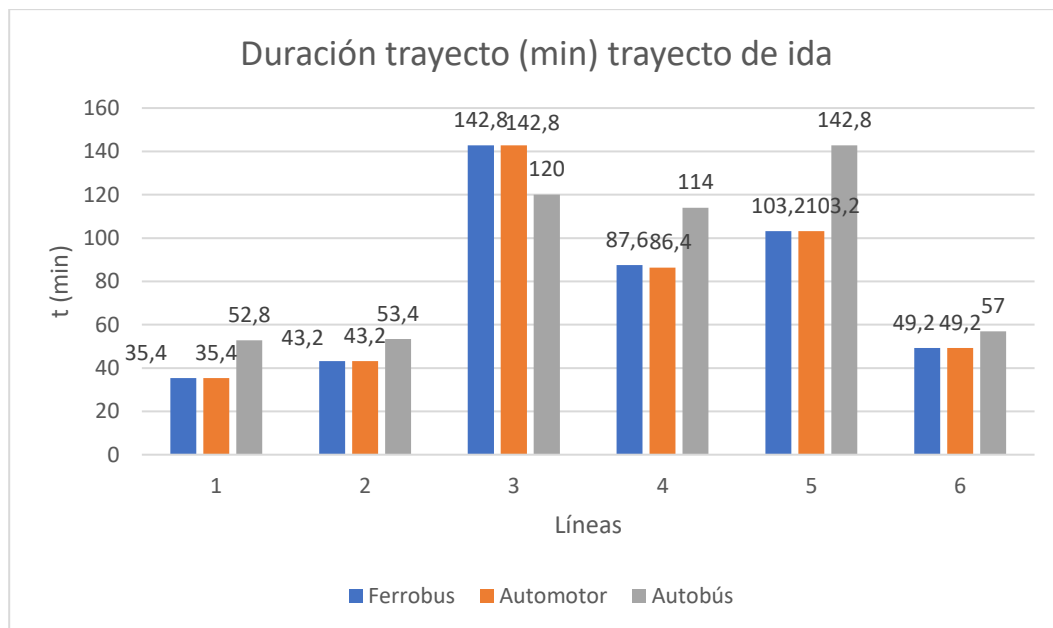


Figura 78. Duración trayectos de ida en las diferentes líneas. Fuente: elaboración propia

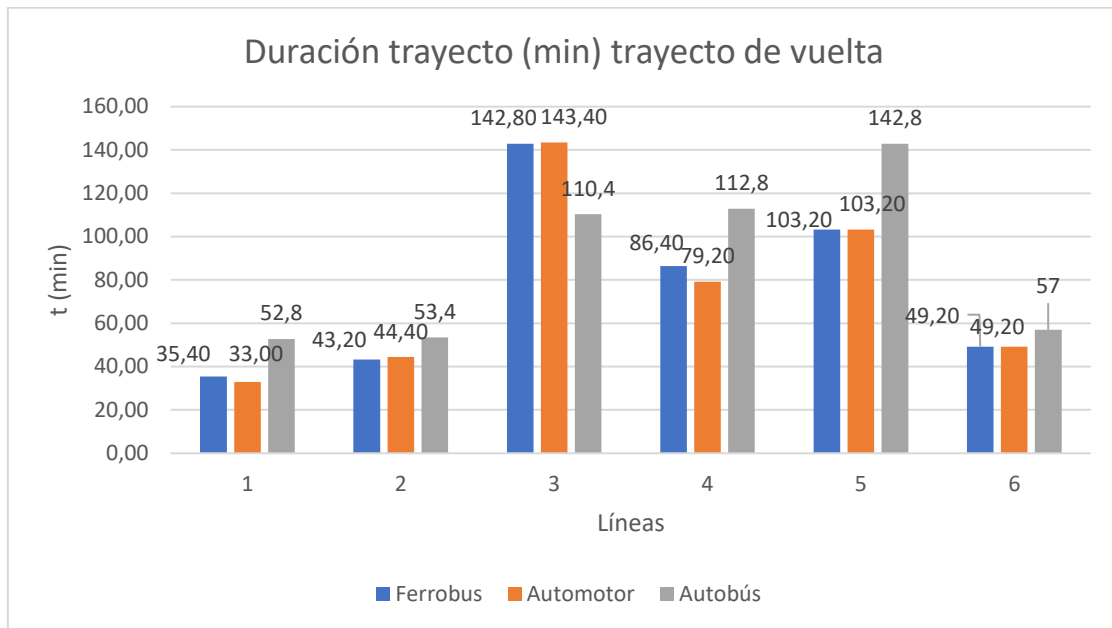


Figura 79. Duración trayectos de vuelta en las diferentes líneas. Fuente: elaboración propia

Efectivamente la duración de los trayectos con ferrobús y automotor es en muy similar, sin embargo, con el autobús siempre va a ser mayor, a excepción de la línea 3 (Huesca- Canfranc).

Comparando ahora el ferrobús con el autobús, ambos tienen la misma capacidad de pasajeros, y para una misma capacidad, siendo el ferrobús más pesado, 50T frente al autobús 13T, está consumiendo similar. Con lo cual la ratio de litro por kilómetro y por tonelada transportada es muy beneficioso para el ferrobús.

9.ANEXOS

9.1 Anexo I Estudio del transporte

Se proceden a analizar los diferentes corredores aragoneses. Se va a hacer un recuento del número de habitantes de las localidades que abarcan las diferentes líneas, descontando el valor de habitantes en zaragoza se obtendrán valores de demandas potenciales.

Comenzando con la línea 1: Zaragoza-Monreal de Ariza.



Figura 80. Línea Zaragoza-Monreal de Ariza. Fuente: ESTUDIO DEL TRANSPORTE POR CARRETERA Y POR FERROCARRIL Y SU INTERMODALIDAD EN EL INTERIOR DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. Servicio de Transportes e Inspección de la Dirección de Transportes, del Departamento

ESTACIÓN	HABITANTES
ZARAGOZA-DELICIAS	674314
UTEBO	18851
CASITAS	7295
GRISÉN	549
PLASENCIA DE JALÓN	404
RUEDA DE JALÓN-LUMPIAQUE	353
ÉPILA	4691
SALILLAS DE JALÓN	371
CALATORAO	3072
RICLA-LA ALMUNIA	3469
MORATA DE JALÓN	1360
PURROY	38
MORÉS	443
SABIÑÁN	805
PARACUELLOS DE LA RIBERA	199

EMBID DE JALÓN	33
CALATAYUD	21933
TERRER	526
ATECA	2113
BUBIERCA	65
ALHAMA DE ARAGÓN	1225
CETINA	717
ARIZA	1267
MONREAL DE ARIZA	197

TOTALES=744290

$$\Delta L1 = 744290 - 674314 = 69976$$

Para la línea 2: Zaragoza-Gallur

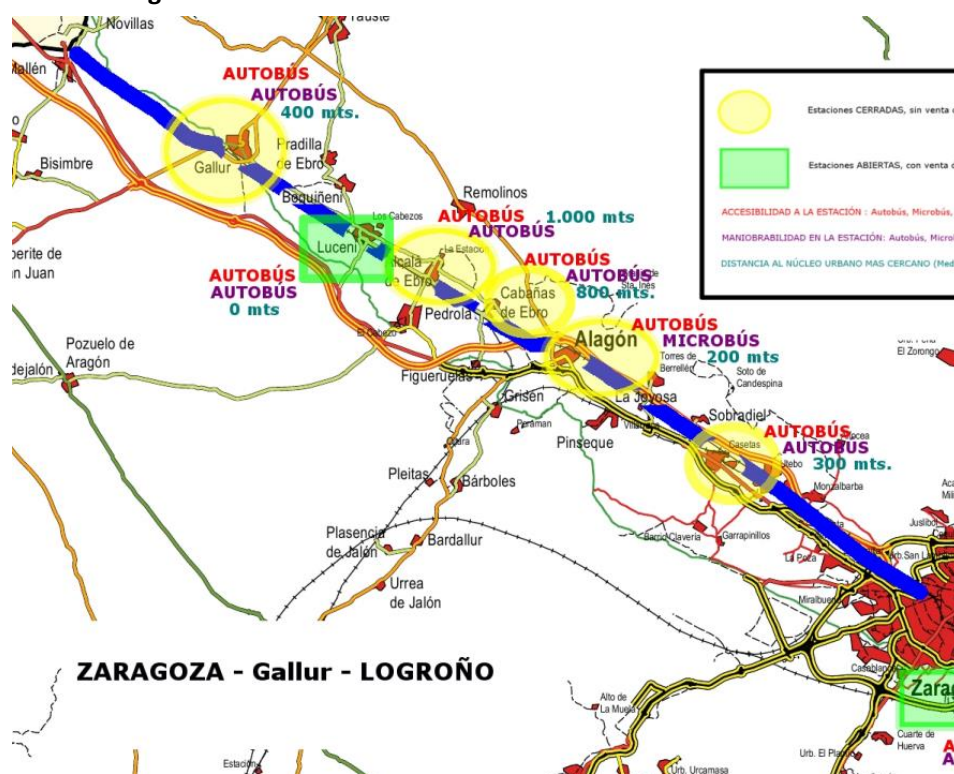


Figura 81. Línea Zaragoza-Gallur. Fuente: ESTUDIO DEL TRANSPORTE POR CARRETERA Y POR FERROCARRIL Y SU INTERMODALIDAD EN EL INTERIOR DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. Servicio de Transportes e Inspección de la Dirección de Transportes, del Departamento de Obras

ESTACIÓN	HABITANTES
ZARAGOZA- DELICIAS	674314
UTEBO	18851
CASSETAS	7295
ALAGÓN	7195
CABAÑAS DE EBRO	558
ALCALÁ DE EBRO	290
PEDROLA	3667
LUCENI	1101
GALLUR	3026

TOTALES=716297

$$\Delta L2 = 716297 - 674314 = \mathbf{41983}$$

Para la línea 3: Zaragoza-Canfranc



Figura 82. Línea Zaragoza-Canfranc. Fuente: ESTUDIO DEL TRANSPORTE POR CARRETERA Y POR FERROCARRIL Y SU INTERMODALIDAD EN EL INTERIOR DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. Servicio de Transportes e Inspección de la Dirección de Transportes, del Departamento de Obra

ESTACIÓN	HABITANTES
ZARAGOZA-DELICIAS	674314
VILLANUEVA DE GALLEGO	4255
ZUERA	7427
TARDIENTA	1035
HUESCA	52059
ESQUEDAS	121
AYERBE	1125
CONCILIO	14
RIGLOS	272
SANTA MARÍA Y LA P	25
ANZÁNIGO	14
CALDEARENAS	246
SABIÑÁNIGO	10378
JACA	13396
CASATIELLO	265
ARATORÉS	20
VILANÚA	477
CANFRANC EST	514

TOTALES=765957

$$\Delta L3 = 765957 - 674314 = \mathbf{91643}$$

Para la línea 4: Zaragoza-Binéfár



Figura 83. Línea Zaragoza-Binéfár. Fuente: ESTUDIO DEL TRANSPORTE POR CARRETERA Y POR FERROCARRIL Y SU INTERMODALIDAD EN EL INTERIOR DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. Servicio de Transportes e Inspección de la Dirección de Transportes, del Departamento de Obras

ESTACIÓN	HABITANTES
ZARAGOZA-DELICIAS	674314
VILLANUEVA DE GALLEGO	4255
ZUERA	7427
TARDIENTA	1035
GRAÑÉN	2038
MARCEN-POLENIÑO	72
SARIÑENA	4455
SELGUA	157
MONZÓN RÍO CINCA	17042
BINÉFAR	9444

TOTALES=720239

$\Delta L4 = 720239 - 674314 = 45925$

Para la línea 5: Zaragoza-Nonaspe



Figura 84. Línea Zaragoza-Nonaspe. Fuente: ESTUDIO DEL TRANSPORTE POR CARRETERA Y POR FERROCARRIL Y SU INTERMODALIDAD EN EL INTERIOR DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. Servicio de Transportes e Inspección de la Dirección de Transportes, del Departamento de Obras

ESTACIÓN	HABITANTES
ZARAGOZA-DELICIAS	674314
EL BURGO DE EBRO	2298
FUENTES DE EBRO	4596
PINA	2597
QUINTO	2108
LA ZAIDA-SÁSTAGO	534
AZAILA	154
LA PUEBLA DE HÍJAR	1024
SAMPER	928
ESCATRÓN	1163
CHIPRANA	290
CASPE	9728
VAL DE PILAS FABARA	1225
NONASPE	1083
FAYÓN	422

TOTALES=702464

$\Delta L5 = 702464 - 674314 = 28150$

Para la línea 6: Zaragoza-Rubielos de Mora



Figura 85. Línea Zaragoza-Rubielos de Mora. Fuente: ESTUDIO DEL TRANSPORTE POR CARRETERA Y POR FERROCARRIL Y SU INTERMODALIDAD EN EL INTERIOR DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. Servicio de Transportes e Inspección de la Dirección de Transportes, del Departamento

ESTACIÓN	HABITANTES
ZARAGOZA-DELICIAS	674314
MARIA DE HUERVA	4444
ARAÑALES DE MUEL	1388
LONGARES	896
CARIÑENA	3665
ENCINACORBA	264
VILLARREAL DE HUERVA	202
VILLADOZ	88
BADULES	100
VILLAHERMOSA	98
FERRERUELA	77
CUENCABUENA	46
LECHAGO	84
NAVARRETE	147
CALAMOCHA	4776
CAMINREAL-FUENTES CLARAS	1428
TORRIJO DEL CAMPO	566
MONREAL DEL CAMPO	2744
VILLAFRANCA DEL CAMPO	361
SANTA EULALIA DEL CAMPO	1185
CELLA	3112
TERUEL	33320
PUERTO ESCANDÓN	
PUEBLA DE VALVERDE	569
SARRIÓN	155
MORA DE RUBIELOS	1756
RUBIELOS DE MORA	780

TOTALES=736565

$$\Delta L6 = 736565 - 674314 = \mathbf{62251}$$

En la siguiente figura se muestra el resultado, de la demanda poblacional de cada una de las líneas.

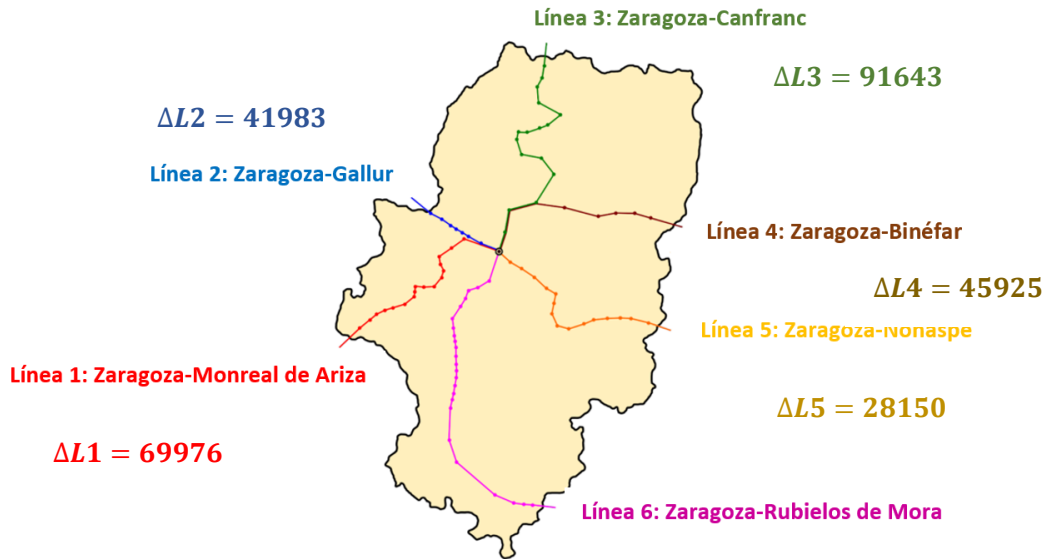


Figura 86. Demanda poblacional en cada una de las líneas. Fuente: elaboración propia

No todas las líneas tienen la misma longitud, unas son más largas que otras, las longitudes de las respectivas líneas son 139km para L1, 41,9km para L2, 208km para L3, 137,6km para L4, 140,5km para L5, y 241,7km para L6. En una línea que sea más larga evidentemente los pasajeros se reparten más.

Con lo cual la densidad por km de pasajero en cada una de las líneas es la siguiente:

$$\Delta L1 = \frac{69976}{139} = 503,42p/km$$

$$\Delta L2 = \frac{41983}{41,9} = 1002p/km$$

$$\Delta L3 = \frac{91643}{208} = 440,59p/km$$

$$\Delta L4 = \frac{45925}{137,6} = 333,76p/km$$

$$\Delta L5 = \frac{28150}{140,5} = 200,36p/km$$

$$\Delta L6 = \frac{62251}{241,7} = 257,55p/km$$

9.2 Anexo II Información adicional sobre automotores en las 6 líneas

Dicha información ha sido proporcionada por un maquinista de Renfe.

L1_ Calatayud-Monreal de Ariza. L a V = 10. S D F = 2

L2_ Zaragoza-Gallur. L a V = 15. S D F = 5

L3_ Huesca-Canfranc. L a V = 6-7. S D F = 30

L4_ Zaragoza-Binefar. L a V = 15. S D F = 4

L5_ Zaragoza-Nonaspe. Diario = 9

L6_ Teruel-Rubielos de Mora. Diario = 5-7

Entre Calatayud y Monreal de Ariza circulan diariamente dos trenes de viajeros pero sólo uno de ellos realiza parada comercial en Monreal de Ariza (el Regional Miraflores – Arcos de Jalón y su vuelta).

Con respecto a las velocidades máximas de la línea en cada tramo, depende de cada trayecto entre estaciones y de los límites de velocidad de infraestructura establecidos por Adif. Por ejemplo, entre Calatayud y Monreal de Ariza hay 44,3 km y existen unas velocidades máximas dependiendo de los tramos del trayecto, en orden, de 155, 100, 110, 155, 160, 140 y 155. Pero en algunas líneas el servicio comercial se realiza, en ocasiones, con trenes de distinta serie dando como resultado distintas velocidades máximas debido al Tipo de velocidad que tiene el correspondiente automotor, como sucede en su línea L1, siendo las velocidades de 140, 100, 90, 100, 140, 130 y 140. Independientemente de la serie del tren, el horario teórico no varía y supone 34 minutos resultando una velocidad media de unos 77 km/h, realizando 6 paradas comerciales (Terrer, Ateca, Alhama de Aragón, Cetina, Ariza y Monreal de Ariza). Los tiempos que marca el horario del tren en las paradas de ésta y la mayoría de las líneas son breves; a esas paradas comerciales las denominamos momentáneas y tienen una duración que en condiciones normales no alcanza el minuto y en cualquier caso depende de la subida y bajada de viajeros; otras, en cambio, llegan al minuto o incluso alguno más.

Respecto de las velocidades de los trenes en cada línea depende, como decía antes, del Tipo de velocidad del vehículo. De esta manera en vuestras líneas L1 y L4 circulan trenes Tipo 160A y tipo 140, en la línea L2 son de Tipo 140 y 120A, la L3 y L6 se explotan con trenes Tipo 160A. Las velocidades medias de los trenes que recorren esas líneas son más reducidas en L3 y L6 porque se ven afectadas por los distintos puertos de montaña que tienen que atravesar (en caso de L3 además por la antigüedad de parte de la superestructura de la vía). Igualmente en cada una de estas líneas existen dependencias (apeaderos y estaciones) donde nuestros trenes no paran, bien porque no realizan ese servicio (en Monreal de Ariza sólo para el Regional de Zaragoza a Arcos de Jalón, no el Regional Exprés de Madrid a Barcelona ni el Regional de Madrid a Lérida...) o porque dichas dependencias están fuera de servicio comercial para cualquier tren (en la línea L3 sucede en Plasencia del Monte y en Riglos-Concilio; en la línea L4 sucede en San Juan de Mozarrifar, Zuera, Almudévar, Marcén-Poliñino, Tormillo-Lastanosa y Selgua; en la línea L5 igualmente con La Cartuja, Fuentes de Ebro, Escatrón, Chiprana, Val de Pilas o Fabara, dependiendo además del servicio comercial de cada tren).

Ejemplo de las líneas:

L1_ Calatayud-Monreal de Ariza

L2_ Zaragoza-Gallur

L3_ Huesca-Canfranc

L4_ Zaragoza-Binefar

L5_ Zaragoza-Nonaspe

L6_ Teruel-Rubielos de Mora

Aproximadamente las paradas no alcanzan el minuto programado aunque como decía, depende de la afluencia de viajeros y lo que tarden en subir y bajar del tren. Luego existen distintas concesiones de tiempo de parada comercial de uno o varios minutos en algunas estaciones para algunos trenes como son Zaragoza Delicias, Huesca, Cariñena, Teruel, etc. por la demanda y/o porque existe un enlace a otro tren, una parada técnica para adelantamiento o cruce de trenes...

Por otro lado, respecto a los tipos de tren utilizados, la categorización que hemos visto es:

L1 = Circulan Regionales y Regionales Exprés pero el que tiene parada en Monreal de Ariza es el Regional (Miraflores - Arcos de Jalón)

L2 = Regional Exprés

L3 = Regional

L4, L5 = Regional y Regional Exprés

L6 = Media Distancia (si fuese de Zaragoza hasta Teruel también el que sería denominado TRD).

Las líneas tienen una categoría pero viene asociada a la masa por eje y por metro lineal, en toneladas, que puede soportar (más relevante para los tráficos de mercancías). La velocidad y sus limitaciones en vía vienen dadas por el estado y las características de la vía y también por el vehículo que circula por ellas.

Respecto a la demanda y la ocupación del tren, el pico registrado habitualmente en las distintas líneas puede ser de (lo que contrastado con un compañero de intervención; sin contar la demanda derivada del nuevo abono recurrente que dispara la demanda habitual):

L1_ Calatayud-Monreal de Ariza. L a V = 10. S D F = 2

L2_ Zaragoza-Gallur. L a V = 15. S D F = 5

L3_ Huesca-Canfranc. L a V = 6-7. S D F = 30

L4_ Zaragoza-Binefar. L a V = 15. S D F = 4

L5_ Zaragoza-Nonaspe. Diario = 9

L6_ Teruel-Rubielos de Mora. Diario = 5-7

Las cifras de las plazas sentadas que dispone el tren que habitualmente presta servicio en esa línea (La UT 470 por la línea L2 que tiene de 220 a 234 plazas / la UT 599 por la línea 6 que dispone de hasta 187 plazas).

9.3 Anexo III Ecotransit

Se intentó sacar la ruta del autobús mediante la página web Ecotransit.

Se decidió utilizar un camión porque tiene la misma potencia que un autobús pero en teoría es un camión que lleva mínimo la tara que son 15t, con unos 450cv y el autobús pesa 13T así que, al meter la carga es lo mismo, pero han pasado dos cosas:

- No tiene en cuenta las pendientes, por lo tanto, nuestro modelo es mejor que este.
- De un día para otro cambió el valor del consumo

Por tanto, como daba un consumo igual en ida y vuelta, se concluye que no calcula el perfil de la ruta. Con lo cual se decidió prescindir de optar por esta vía de cálculo.

10. Bibliografía

Maquinistas de Renfe

ESTUDIO DEL TRANSPORTE POR CARRETERA Y POR FERROCARRIL Y SU INTERMODALIDAD EN EL INTERIOR DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN. Servicio de Transportes e Inspección de la Dirección de Transportes, del Departamento de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes del Gobierno de Aragón. Diciembre 2010

SITUACIÓN ACTUAL Y POTENCIAL FUTURO DEL TRANSPORTE POR FERROCARRIL EN ARAGÓN. Ingeniería e Infraestructura de los Transportes. Septiembre 2021

Enlace de la declaración de red:

[mapa_general_ServicioPublico_30_07_20\(renfe.com\)](#)

Páginas TER:

[https://trainspo.com/model/142/](#)

[http://lestrainsjouef.free.fr/en/dies_fra/hj-x73500_sncf.html](#)

[https://en.wikipedia.org/wiki/SNCF_Class_X_73500](#)

[X 73500 - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

[www.tgveurofrance.com](#)

Alternativas sistemas de tracción:

[https://www.geotren.es/blog/el-hidrogeno-y-las-baterias-en-el-ferrocarril/](#)

Ferrobuses existentes:

[https://www.wired.com/2008/05/half-bus-half-t/](#)

[https://www.rtands.com/passenger/commuter-regional/positive-audit-for-scvtas-2000-measure-a/](#)

[https://www.urban-transport-magazine.com/en/innovative-very-light-trains-and-trams-to-come-from-the-united-kingdom/](#)

[http://www.ultralightrail.com/index.htm#.YRwizBQzYY0](#)

[http://www.ultralightrail.com/gallery.htm#](#)

[http://www.tgveurofrance.com/](#)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/B_81500](#)

[http://www.railforthevalley.com/tag/stadler/](#)

[https://en.wikipedia.org/wiki/DB_Class_670](#)

Flota de automotores en Renfe:

<https://www.renfe.com/es/va/grup-renfe/grup-renfe/flota-de-trens>

Obtención de rutas por carretera:

https://www.google.com/intl/es_ES/maps/about/mymaps/

Obtención de alturas por ruta por ferrocarril:

<https://earth.google.com/web/>

Obtención de alturas por ruta por carretera:

<https://www.gpsvisualizer.com/elevation>

Fórmula AECOC:

<https://www.aecoc.es>

Modelo autobús:

<https://www.irizar.com/autobuses-y-autocares/autocares/irizar-i6-integral/>

El hidrógeno y las baterías:

<https://www.geotren.es/blog/el-hidrogeno-y-las-baterias-en-el-ferrocarril/>