

## Trabajo Fin de Grado

Desarrollo y aplicación de un modelo de estimación de  
costes logísticos para el transporte de mercancías en  
medio terrestre

Development and application of a logistics cost  
estimation model for land freight transport

Autor

Pablo Fernández Suso

Directores

Emilio Larrodé Pellicer

M.<sup>a</sup> Victoria Muerza Marín

# DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN MODELO DE ESTIMACIÓN DE COSTES LOGÍSTICOS PARA EL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS EN MEDIO TERRESTRE

## RESUMEN

La finalidad de la realización de este trabajo es elaborar un sistema de cálculo de costes con el que poder seleccionar de forma sencilla el modo de transporte terrestre que se debería de utilizar para transportar cierta mercancía a lo largo de una ruta, con el claro objetivo de optimizar el beneficio económico. Dependerá pues, obviamente, de cuál es la ruta que se ha de llevar a cabo y el tipo de la mercancía a transportar. La orografía de la ruta y el peso de la mercancía son parámetros clave y determinantes en el cálculo de costes, como bien veremos.

Para abarcar todo tipo de situaciones, se estudiarán seis rutas nacionales y dos internacionales, así como cinco tipos de carga o mercancías diferentes.

Los dos tipos de transporte terrestre a comparar son el transporte por carretera (camión) y el transporte ferroviario. Por lo tanto, el proyecto se dividirá en dos partes: (i) el cálculo de costes para los dos tipos, cada uno con su simulador de costes, y (ii) la comparativa entre estos mismos.

Finalmente, se expondrán las conclusiones según los valores y comparaciones obtenidas.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1. TRANSPORTE POR CARRETERA</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2. TRANSPORTE FERROVIARIO</b> .....	<b>22</b>
2.1.1 AUTOPISTA FERROVIARIA.....	25
<b>3. HIPÓTESIS DE CÁLCULO Y ESTUDIOS PREVIOS</b> .....	<b>27</b>
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1. ZARAGOZA – BILBAO</b> .....	<b>37</b>
4.1.1 CARGA GENERAL (A PESO).....	37
4.1.2 CARGA GENERAL (A VOLUMEN).....	38
4.1.3 FRIGORÍFICO.....	39
4.1.4 GRANEL.....	40
4.1.5 PORTAVEHÍCULOS.....	41
<b>4.2. ZARAGOZA – BARCELONA</b> .....	<b>42</b>
4.2.1 CARGA GENERAL (A PESO).....	42
4.2.2 CARGA GENERAL (A VOLUMEN).....	43
4.2.3 FRIGORÍFICO.....	44
4.2.4 GRANEL.....	45
4.2.5 PORTAVEHÍCULOS.....	46
<b>4.3. ZARAGOZA – VALENCIA</b> .....	<b>47</b>
4.3.1 CARGA GENERAL (A PESO) .....	47
4.3.2 CARGA GENERAL (A VOLUMEN).....	48
4.3.3 FRIGORÍFICO.....	49
4.3.4 GRANEL.....	50
4.3.5 PORTAVEHÍCULOS.....	51
<b>4.4. ZARAGOZA – ALGECIRAS</b> .....	<b>52</b>
4.4.1 CARGA GENERAL (A PESO).....	52
4.4.2 CARGA GENERAL (A VOLUMEN).....	53
4.4.3 FRIGORÍFICO.....	54
4.4.4 GRANEL.....	55
4.4.5 PORTAVEHÍCULOS.....	56
<b>4.5. ZARAGOZA – VIGO</b> .....	<b>57</b>
4.5.1 CARGA GENERAL (A PESO).....	57



4.5.2	CARGA GENERAL (A VOLUMEN).....	58
4.5.3	FRIGORÍFICO.....	59
4.5.4	GRANEL.....	60
4.5.5	PORTAVEHÍCULOS.....	61
<b>4.6.</b>	<b>ZARAGOZA – MADRID – LISBOA.....</b>	<b>62</b>
4.6.1	CARGA GENERAL (A PESO).....	62
4.6.2	CARGA GENERAL (A VOLUMEN).....	63
4.6.3	FRIGORÍFICO.....	64
4.6.4	GRANEL.....	65
4.6.5	PORTAVEHÍCULOS.....	66
<b>4.7.</b>	<b>ZARAGOZA – IRUN – BURDEOS – PARIS.....</b>	<b>67</b>
4.7.1	CARGA GENERAL (A PESO).....	67
4.7.2	CARGA GENERAL (A VOLUMEN).....	68
4.7.3	FRIGORÍFICO.....	69
4.7.4	GRANEL.....	70
4.7.5	PORTAVEHÍCULOS.....	71
<b>4.8.</b>	<b>ZARAGOZA – BARCELONA – LE BOULOU – BETTEMBOURG.....</b>	<b>72</b>
4.8.1	CARGA GENERAL (A PESO).....	72
4.8.2	CARGA GENERAL (A VOLUMEN).....	73
4.8.3	FRIGORÍFICO.....	74
4.8.4	GRANEL.....	76
4.8.5	PORTAVEHÍCULOS.....	77
<b>5.</b>	<b>COMPARATIVA.....</b>	<b>79</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Resistencia a la pendiente .....	14
Fórmula 2. Pendiente de un tramo.....	15
Fórmula 3. Resistencia a la aerodinámica .....	15
Fórmula 4. Resistencia a la rodadura.....	15
Fórmula 5. Coeficiente de rozamiento con el suelo .....	16
Fórmula 6. Resistencia a la inercia.....	16
Fórmula 7. Resistencia total al movimiento .....	17

Fórmula 8. Consumo de combustible a lo largo de un tramo .....	20
Fórmula 9. Trabajo requerido para desplazar el vehículo a lo largo de un tramo .....	20
Fórmula 10. Energía consumida por el movimiento del vehículo en un tramo .....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de transporte por autopista ferroviaria. Fuente: Grupo Lohr .....	13
Figura 2. Creación de la ruta en Google Earth .....	18
Figura 3. Obtención del perfil de elevación a través de Google Earth de la ruta Zaragoza - Bilbao.....	18
Figura 4. Asignación de ruta Zaragoza – Lisboa en web Crea tu ruta.....	19
Figura 5. Perfil de elevación obtenido a través de Crea tu ruta de la ruta Zaragoza - Barcelona.....	19
Figura 6. Operación de transbordo. Fuente: SpanishSports.....	23
Figura 7. Parámetros a introducir en Ecotransit.....	24
Figura 8. Modalidades de carga en transporte ferroviario. Fuente: Cinco Días, periódico El País .....	25
Figura 9. Coeficientes de rozamiento para diferentes superficies y neumáticos. Fuente: Wikipedia .....	28
Figura 10. Consumos empleados en la operación de acarreo. Fuente: Tesis doctoral de Jesús Medrano.....	31
Figura 11. Canon de acceso según tipo de vía ferroviaria. Fuente: Tesis doctoral de Jesús Medrano.....	32
Figura 12. Canon de reserva según tipo de vía ferroviaria y período horario. Fuente: Tesis doctoral de Jesús Medrano.....	33
Figura 13. Canon de circulación según el tipo de vía ferroviaria. Fuente: Tesis doctoral de Jesús Medrano. ....	33
Figura 14. Resultados obtenidos en Ecotransit para Zaragoza – Bilbao y carga general a peso .....	34

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tara de cada vehículo a estudiar.....	27
Tabla 2. Pesos según el tipo de carga a transportar .....	27

Tabla 3. Consumos calculados por ruta para carga general a peso y frigorífica .....	29
Tabla 4. Consumos calculados por ruta para carga general (a volumen).....	29
Tabla 5. Consumos calculados por ruta para carga a granel .....	29
Tabla 6. Consumos calculados por ruta para carga porta-vehículos.....	30
Tabla 7. Características técnicas introducidas en Acotram .....	30
Tabla 8. Costes a introducir por el usuario en Acotram .....	30
Tabla 9. Precios de los semirremolques introducidos por el usuario en Acotram.....	30
Tabla 10. Costes en la operación de transbordo. Fuente: Tesis doctoral de Jesús Medrano.	32
Tabla 11. Consumos en kWh/t.neta-100km para locomotora con tracción eléctrica .....	35
Tabla 12. Consumos en kWh/t.neta-100km para locomotora con tracción diésel.....	35
Tabla 13. Consumos en l/t.neta-100km de diésel .....	35
Tabla 14. Consumos Zaragoza – Le Boulou de transporte por carretera .....	36
Tabla 15. Consumos en kWh/t.neta-100km Zaragoza – LeBoulou de transporte ferroviario	36
Tabla 16. Resumen de costes/km obtenidos para transporte por carretera .....	79
Tabla 17. Resumen de costes/km obtenidos para transporte ferroviario .....	79
Tabla 18. Resumen de costes/km obtenidos para autopista ferroviaria .....	79

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao y carga general (a peso).....	37
Gráfico 2. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao con carga general (a peso).....	38
Gráfico 3. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao y carga general (a vol.) .....	38
Gráfico 4. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao con carga general (a vol.).....	39
Gráfico 5. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao y carga frigorífica ....	39
Gráfico 6. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao con carga frigorífica ..	40
Gráfico 7. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao y carga a granel .....	40
Gráfico 8. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao con carga a granel .....	41

Gráfico 9. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao y carga porta-vehículos.....	41
Gráfico 10. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao con carga porta-vehículos.....	42
Gráfico 11. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona y carga general (a peso).....	42
Gráfico 12. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona con carga general (a peso).....	43
Gráfico 13. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona y carga general (a vol.).....	43
Gráfico 14. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona con carga general (a vol.).....	44
Gráfico 15. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona y carga frigorífica .....	44
Gráfico 16. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona con carga frigorífica .....	45
Gráfico 17. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona y carga a granel .....	45
Gráfico 18. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona con carga a granel .....	46
Gráfico 19. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona y carga porta-vehículos.....	46
Gráfico 20. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona con carga porta-vehículos.....	47
Gráfico 21. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia y carga general (a peso).....	47
Gráfico 22. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia con carga general (a peso).....	48
Gráfico 23. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia y carga general (a vol.).....	48
Gráfico 24. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia con carga general (a vol.).....	49
Gráfico 25. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia y carga frigorífica .....	49

Gráfico 26. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia con carga frigorífica .....	50
Gráfico 27. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia y carga a granel.	50
Gráfico 28. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia con carga a granel	51
Gráfico 29. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia y carga porta-vehículos.....	51
Gráfico 30. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia con carga porta-vehículos.....	52
Gráfico 31. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras y carga general (a peso).....	52
Gráfico 32. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras con carga general (a peso).....	53
Gráfico 33. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras y carga general (a vol.).....	53
Gráfico 34. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras con carga general (a vol.).....	54
Gráfico 35. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras y carga frigorífica .....	54
Gráfico 36. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras con carga frigorífica .....	55
Gráfico 37. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras y carga a granel	55
Gráfico 38. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras con carga a granel .....	56
Gráfico 39. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras y carga porta-vehículos.....	56
Gráfico 40. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras con carga porta-vehículos.....	57
Gráfico 41. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo y carga general (a peso).....	57
Gráfico 42. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo con carga general (a peso).....	58
Gráfico 43. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo y carga general (a vol.) .....	58
Gráfico 44. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo con carga general (a vol.).....	59

Gráfico 45. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo y carga frigorífica.....	59
Gráfico 46. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo con carga frigorífica ...	60
Gráfico 47. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo y carga a granel .....	60
Gráfico 48. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo con carga a granel.....	61
Gráfico 49. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo y carga porta-vehículos.....	61
Gráfico 50. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo con carga porta-vehículos.....	62
Gráfico 51. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa y carga general (a peso).....	62
Gráfico 52. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa con carga general (a peso).....	63
Gráfico 53. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa y carga general (a vol.).....	63
Gráfico 54. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa con carga general (a vol.).....	64
Gráfico 55. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa y carga frigorífica..	64
Gráfico 56. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa con carga frigorífica	65
Gráfico 57. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa y carga a granel ....	65
Gráfico 58. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa con carga a granel...	66
Gráfico 59. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa y carga porta-vehículos.....	66
Gráfico 60. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa con carga porta-vehículos.....	67
Gráfico 61. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris y carga general (a peso).....	67
Gráfico 62. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris con carga general (a peso).....	68
Gráfico 63. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris y carga general (a vol.) .....	68
Gráfico 64. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris con carga general (a vol.).....	69
Gráfico 65. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris y carga frigorífica ....	69

Gráfico 66. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris con carga frigorífica...	70
Gráfico 67. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris y carga a granel.....	70
Gráfico 68. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris con carga a granel .....	
Gráfico 69. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris y carga porta-vehículos.....	71
Gráfico 70. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris con carga porta-vehículos.....	72
Gráfico 71. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg y carga general (a peso).....	72
Gráfico 72. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg con carga general (a peso).....	73
Gráfico 73. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg y carga general (a vol.).....	73
Gráfico 74. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg con carga general (a vol.).....	74
Gráfico 75. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg y carga frigorífica .....	75
Gráfico 76. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg con carga frigorífica .....	75
Gráfico 77. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg y carga a granel.....	76
Gráfico 78. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg con carga a granel.....	76
Gráfico 79. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg y carga porta-vehículos.....	77
Gráfico 80. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg con carga porta-vehículos .....	78
Gráfico 81. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Bilbao.....	80
Gráfico 82. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Barcelona.....	80
Gráfico 83. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Valencia .....	81
Gráfico 84. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Algeciras .....	81
Gráfico 85. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Vigo.....	82
Gráfico 86. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Lisboa.....	82

Gráfico 87. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Paris .....	83
Gráfico 88. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Bettembourg .....	83
Gráfico 89. Porcentaje de coste por consumo de combustible sobre el total .....	84

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido al consumismo, la globalización, y la brutal competencia industrial que se presenta en nuestra sociedad actual, es de vital importancia optimizar todo tipo de costes para obtener rentabilidad. Hoy en día, se comercializa a nivel internacional con gran facilidad y la competencia que hay a nivel de precio es muy elevada.

Por lo mencionado anteriormente, se busca la excelencia de cara a la gestión operativa y financiera, la optimización de la logística es fundamental en este aspecto. Con este trabajo conseguiremos, con gran facilidad, ver cómo se debería de transportar la mercancía deseada de un lugar a otro; si por camión o por tren.

Como bien hemos mencionado en el resumen, para abarcar todo tipo de situaciones y distancias, cabe mencionar que para este estudio se van a analizar una serie de rutas a nivel nacional e internacional, las cuales serán:

- i. A nivel nacional (Península Ibérica):
  - Zaragoza – Puerto de Bilbao
  - Zaragoza – Puerto de Barcelona
  - Zaragoza – Puerto de Valencia
  - Zaragoza – Puerto de Algeciras
  - Zaragoza – Puerto de Vigo
  - Zaragoza – Puerto de Lisboa: pasando por Madrid
- ii. A nivel internacional:
  - Zaragoza – París: pasando por Irún y Burdeos
  - Zaragoza – Luxemburgo (Bettembourg): pasando por Barcelona y Le Boulou, un pueblo situado al lado de Perpignan
    - En este último caso, además del transporte por camión o tren, se añadirá una alternativa de medio de transporte más: autopista ferroviaria (transporte por camión hasta Le Boulou y, una vez ahí, montamos los semirremolques con sus cargas en un tren).

Como vemos en la Figura 1, en este caso se carga directamente la mercancía con su semirremolque en la plataforma del tren, en vez de hacer un transbordo de contenedor del semirremolque del camión a la plataforma del tren.

Así pues, en este caso especial, el coste de este transporte será una mezcla entre costes de transporte por camión y por tren.



Figura 1. Ejemplo de transporte por autopista ferroviaria. Fuente: Grupo Lohr

Una vez descritas las diferentes rutas a estudiar, también se diferenciará, según la mercancía, el tipo de carga de transporte que se utilizará, distinguiendo entre:

- Carga general: Contenedor de 40", ya sea cargado a peso o a volumen.
- A granel: Tolva
- Frigorífico: Contenedor frigorífico con sistema de refrigeración
- Porta-vehículos

Para llevar a cabo todo este análisis y crear el sistema de cálculo de costes se seguirá una metodología clara y sencilla, la cual va a ser explicada a continuación.

## 2. METODOLOGÍA

Como bien se ha mencionado anteriormente, se va a diseñar el sistema de cálculo de costes de transporte por carretera y de transporte ferroviario (con su respectivo acarreo necesario) por separado. Se comenzará exponiendo el modelo seguido para el cálculo de costes de transporte por carretera.

### 2.1. TRANSPORTE POR CARRETERA

El primer punto a realizar para el diseño del sistema de cálculo de costes por carretera es la obtención de los consumos medios aproximados por cada 100 km de cada trayecto y cada tipo de carga. No obstante, antes de poder calcular los consumos se necesita obtener los perfiles de las rutas, expuestas en el ANEXO I, y sus pendientes en cada tramo.

Los consumos se han obtenido a través de un cálculo sencillo realizado en un fichero Excel, el cual está descrito y expuesto en el ANEXO II.

En primer lugar, es importante definir cuáles serán los pesos totales (peso de la cabeza tractora, plataforma semirremolque y contenedor de carga según su tipo) ya que éste tendrá un impacto directo sobre el consumo de combustible como bien veremos más adelante.

Teniendo descritos y claros los datos de partida, se calculan los consumos a través del cálculo de las resistencias que el vehículo experimenta al trasladarse a lo largo de su recorrido.

Entonces, el siguiente paso que se ha de hacer es básicamente calcular la resistencia total que se opone al movimiento del vehículo. Ésta es la suma de cuatro resistencias: resistencia a la pendiente, resistencia aerodinámica, resistencia a la rodadura y resistencia a la inercia. Sus respectivas fórmulas son:

- *Resistencia a la pendiente:*

Es la resistencia que experimenta el vehículo cuando se dispone a subir una pendiente inclinada positivamente (pendiente hacia arriba). Cuando es cuesta abajo, se considera que es cero ya que no sufre ningún tipo de oposición al movimiento.

$$R_{p(n,n+1)} = i_{n,n+1} * Q_T * g$$

*Fórmula 1. Resistencia a la pendiente*

Donde:

$R_{p(n,n+1)}$  es la resistencia a la pendiente en un tramo, en Newtons

$i_{n,n+1}$  es la pendiente de un tramo (adimensional)

$Q_T$  es el peso total del vehículo (suma de la tara y peso de la mercancía), en kg

$g$  es la gravedad, en  $m/s^2$

A su vez, la pendiente es igual a:

$$i_{(n,n+1)} = \sin \alpha \cong \tan \alpha = \frac{H_{n+1} - H_n}{(L_{n+1} - L_n) * 1.000}$$

*Fórmula 2. Pendiente de un tramo*

Donde:

$H_{n+1}$  es la altitud de la carretera respecto al nivel del mar a final del tramo, en m

$H_n$  es la altitud de la carretera respecto al nivel del mar a inicio del tramo, en m

$L_{n+1}$  es la distancia desde origen de ruta a final del tramo, en km

$L_n$  es la distancia desde origen de ruta a inicio del tramo, en km

- *Resistencia aerodinámica:*

Es la fuerza de oposición que sufre el vehículo debido al rozamiento con el aire cuando está en movimiento.

$$R_{a(n,n+1)} = \frac{1}{2} * c_x * \rho_a * h * w * \left( \frac{v_{n,n+1} + v_a}{2} \right)^2 * g$$

*Fórmula 3. Resistencia a la aerodinámica*

Donde:

$R_{a(n,n+1)}$  es la resistencia aerodinámica en un tramo, en Newtons

$c_x$  es el coeficiente de penetración (adimensional)

$\rho_a$  es la densidad del aire, en kg/m<sup>3</sup>

$h$  es la altura del vehículo, en m

$w$  es la anchura del vehículo, en m

$v_{n,n+1}$  es la velocidad que lleva el vehículo en un tramo, en m/s

$v_a$  es la velocidad media del aire, en m/s

$g$  es la gravedad, en m/s<sup>2</sup>

- *Resistencia a la rodadura:*

Consiste en la oposición a la que el vehículo se ve sometido por estar los neumáticos rodando en fricción con el suelo.

$$R_{r(n,n+1)} = \mu_{r(n,n+1)} * Q_T * g$$

*Fórmula 4. Resistencia a la rodadura*

Donde:

$R_{r(n,n+1)}$  es la resistencia a la rodadura en un tramo, en Newtons

$\mu_{r(n,n+1)}$  es el coeficiente de rozamiento de un tramo (adimensional)

$Q_T$  es el peso total del vehículo (suma de tara y peso de la mercancía), en kg

$g$  es la gravedad, en  $m/s^2$

A su vez, el coeficiente de rozamiento es igual a:

$$\mu_{r(n,n+1)} = \frac{k_1}{1.000} * (5,1 + \frac{(5,5 + 9 * P_R)}{p_{neum}} + \frac{(8,5 + 3 * P_R)}{p_{neum}} * (\frac{1}{100} * \frac{v_{n+1} + v_n}{2})^2)$$

*Fórmula 5. Coeficiente de rozamiento con el suelo*

Donde:

$K_1$  es el coeficiente del pavimento (adimensional)

$P_R$  es el peso por rueda, en kg

$p_{neum}$  es la presión de los neumáticos, en  $kg/m^2$

$v_{n+1}$  es la velocidad al inicio del tramo, en m/s

$v_n$  es la velocidad al final del tramo, en m/s

No obstante, en este estudio, consideraremos el coeficiente de rozamiento igual para todas las rutas y tipo de carga para examinar todo de manera más uniforme y homogénea.

- *Resistencia a la inercia:*

Quando el vehículo cambia sus condiciones de movimiento, es decir, su velocidad, éste se ve sometido a una resistencia o fuerza que ha de superar. En este caso, si el movimiento es negativo, es decir el vehículo decelera y no acelera, la resistencia también es considerada nula.

$$R_{i(n,n+1)} = a_{n,n+1} * Q_T$$

*Fórmula 6. Resistencia a la inercia*

Donde:

$R_{i(n,n+1)}$  es la resistencia a la inercia en un tramo, en Newtons

$a_{n,n+1}$  es la aceleración que adquiere el vehículo en un tramo, en  $m/s^2$

$Q_T$  es el peso total del vehículo (suma de la tara y peso de la mercancía), en kg

Cabe mencionar, también, que, en este caso de estudio, se considerará para toda ruta y tipo de carga la resistencia a la inercia nula a lo largo de todo el trayecto, ya que se partirá de la hipótesis que la velocidad es constante todo el tiempo. No obstante, se aplicará un 5% de incremento al consumo final obtenido como estimación para tener en cuenta las frenadas y acelerones que se producen en los pocos kilómetros que el vehículo se desplaza por vía urbana.

Una vez calculada cada resistencia en cada tramo, se obtiene la resistencia total que un vehículo soporta en ese tramo mediante la suma de todas estas resistencias. El valor final se obtiene en Newtons.

$$R_{T(n,n+1)} = R_{p(n,n+1)} + R_{a(n,n+1)} + R_{r(n,n+1)} + R_{i(n,n+1)}$$

*Fórmula 7. Resistencia total al movimiento*

Antes de comenzar a aplicar las fórmulas mencionadas anteriormente, para poder realizar todo este cálculo, se necesita saber en primer lugar cual es la pendiente de cada tramo para cada ruta que se va a analizar.

Para poder obtener una mayor precisión del consumo que se tendría, se utilizarán tramos de entre 5 y 10 km de distancia. Así, se evita la omisión de un tramo que pueda tener mucha o poca pendiente y se tiene una mayor exactitud.

Para ello, primero hay que obtener la altitud a la que se encuentra cada punto requerido de la carretera respecto a nivel del mar. Esto se puede hacer de tres diversas maneras.

- a. A través de Google Earth.

Es el método más manual. No es el más recomendable por eso mismo, al tratarse de grandes distancias se puede volver impreciso.

Consiste en, utilizando la aplicación para ordenador Google Earth, ir obteniendo punto por punto la altitud de la carretera. Para ello, se ha de ir siguiendo la ruta por carretera tramo a tramo y clicando manualmente en cada punto para obtener las coordenadas como puede observarse en la Figura 2 (los puntos rojos dentro del contorno azul son los que asignamos manualmente clicando).

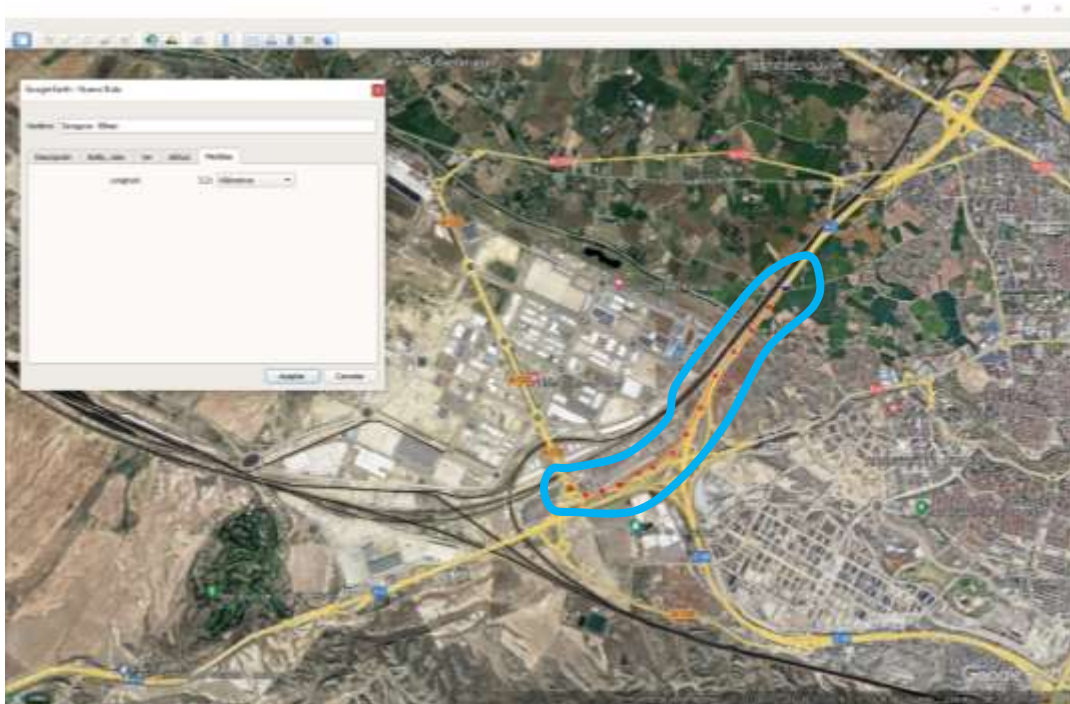


Figura 2. Creación de la ruta en Google Earth

Una vez se ha realizado esto a lo largo de toda la ruta, Google Earth obtiene el perfil de elevación de dicha ruta.

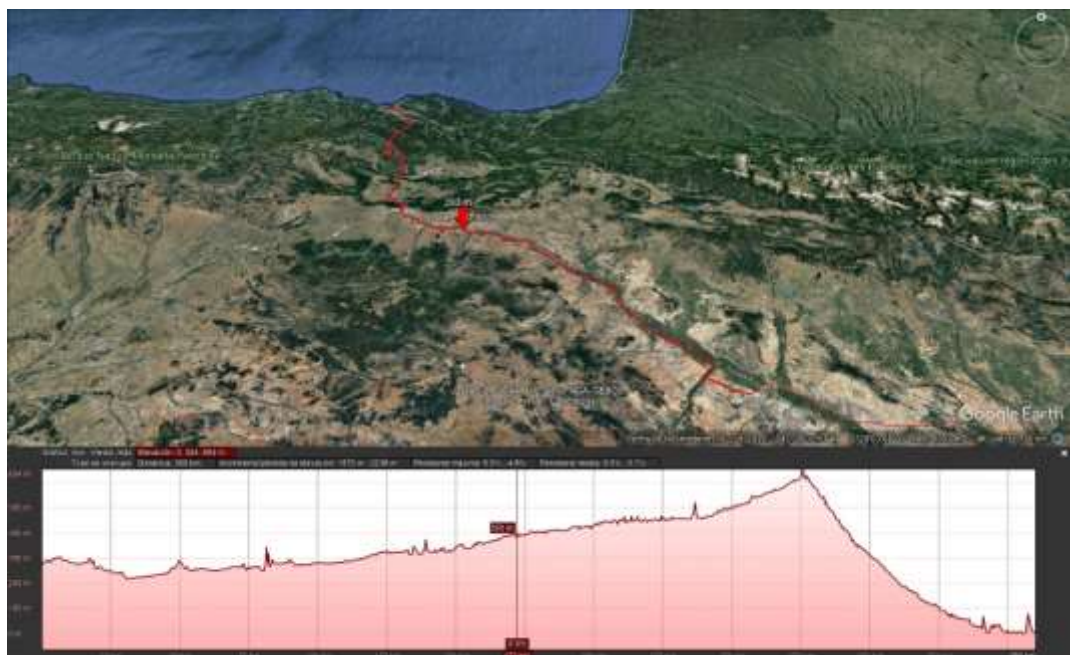


Figura 3. Obtención del perfil de elevación a través de Google Earth de la ruta Zaragoza - Bilbao

En esta gráfica se puede ver la altitud de cada punto si pasamos el cursor por encima del perfil y con estos valores se obtiene la pendiente del tramo aplicando la fórmula de la pendiente anteriormente descrita, Fórmula 2. Como se ha explicado, se van anotando altitudes cada 5 o 10 kilómetros recorridos y aplicamos la fórmula para obtener el valor de la pendiente.

b. Utilizando la página web [creaturuta.com](http://creaturuta.com)

Es el proceso óptimo y recomendable para la obtención de las altitudes. En esta página web únicamente se ha de indicar el origen y final de la ruta (no hay que ir manualmente pinchando por donde iría el camión cada 5 km) y, automáticamente, genera el perfil de elevación del trayecto.

Para lograr una mayor exactitud y que cree la ruta que de verdad necesitamos es recomendable asignar algún punto intermedio también, por ejemplo, para la ruta Zaragoza – Lisboa indicarle que pase por Madrid.

Únicamente hay que ser cautos y verificar que la ruta generada es la deseada.

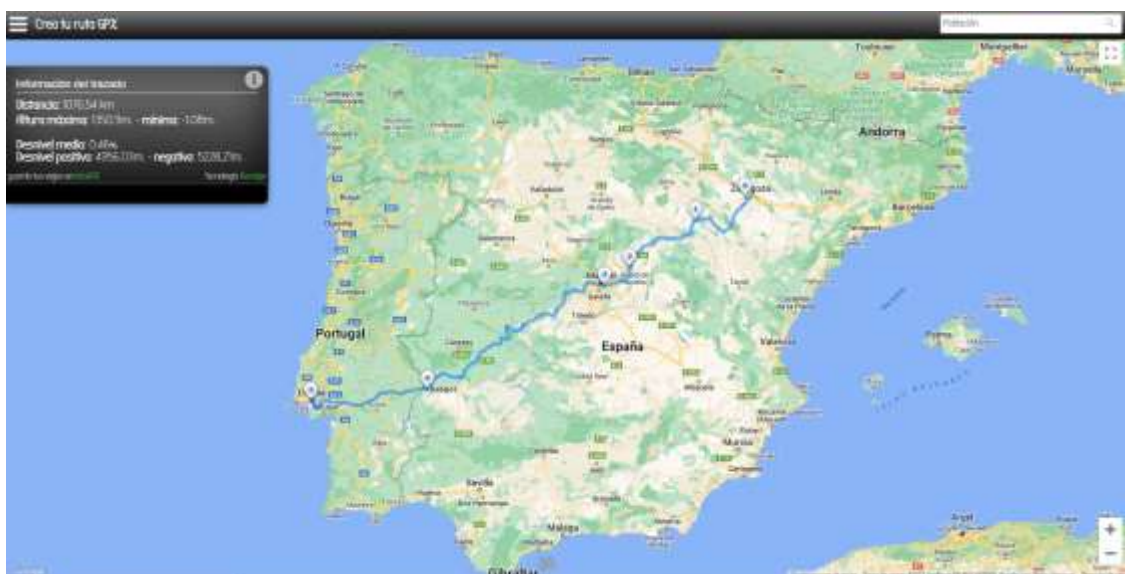


Figura 4. Asignación de ruta Zaragoza – Lisboa en web Crea tu ruta

Eso sí, al igual que a través del primer método, tenemos que ir viendo la altitud de cada punto manualmente posicionando el cursor sobre el perfil de elevación, para así poder sacar las pendientes tramo por tramo.

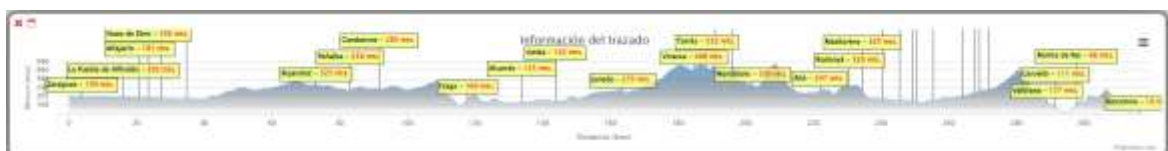


Figura 5. Perfil de elevación obtenido a través de Crea tu ruta de la ruta Zaragoza - Barcelona

c. Generando la ruta a través de Google Maps y convirtiendo el archivo de la ruta a un archivo GPX, para luego exportarlo a un archivo CSV y poder importar los datos en Excel.

Al igual que el anterior, también es un proceso automático, por lo que también se evitaría cometer cualquier tipo de error humano al no ser manual.

Consiste en copiar la dirección URL de la ruta obtenida a través de Google Maps y, con la ayuda de la página web GPX Converter y el programa TCX, convertirlo en un archivo legible por Microsoft Excel. Una vez convertidos, solo hay que importar el archivo CSV y obtenemos los datos de cada punto.

No obstante, se ha experimentado que pueden originarse imprecisiones al exportar el archivo GPX a un archivo CSV. Al importar los datos a Excel del archivo CSV, no se obtienen los valores originales, están un poco modificados, por lo que no es recomendable utilizar este método.

Por todo lo mencionado anteriormente, se ha escogido como método más eficaz y preciso el explicado en el apartado b. Se utilizará éste para el diseño del cálculo de transporte por carretera.

Como ya hemos comentado antes, a través de la pendiente, se calcula la resistencia a esta misma. Sumándola al resto de resistencias mencionadas, las cuales ya se podían tener calculadas, se puede obtener la resistencia total que soporta el camión en cada tramo.

El siguiente paso a seguir es calcular el consumo de cada tramo. Esto se logra a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo} = \frac{E_{total}}{PCS_{gasoil} * \rho_{gasoil}}$$

*Fórmula 8. Consumo de combustible a lo largo de un tramo*

Donde:

$E_{total}$  es la energía total necesaria para trasladar el vehículo dicho tramo, en J

$PCS_{gasoil}$  es el poder calórico superior del gasoil, en Ws/kg

$\rho_{gasoil}$  es la densidad del gasoil, en kg/l

Como se puede observar, para el cálculo del consumo, se necesita calcular la energía. Por lo tanto, antes de poder calcular el consumo final, hay que realizar dos pasos previos más. Primero, obtenemos el trabajo necesario requerido para desplazar la carga a través de la resistencia total calculada previamente y, a través de él, obtenemos ya la energía.

Las fórmulas son:

$$W_{n,n+1} = \frac{R_{T(n,n+1)} * v_{n,n+1}}{\eta_m}$$

*Fórmula 9. Trabajo requerido para desplazar el vehículo a lo largo de un tramo*

Donde:

$W_{n,n+1}$  es el trabajo necesario para trasladar el vehículo en un tramo, en W

$R_{T(n,n+1)}$  es la resistencia total que experimenta el vehículo en un tramo, en N

$v_{n,n+1}$  es la velocidad del vehículo en un tramo, en m/s

$\eta_m$  es el rendimiento mecánico (adimensional)

$$E_{n,n+1} = W_{n,n+1} * t_{n,n+1}$$

*Fórmula 10. Energía consumida por el movimiento del vehículo en un tramo*

Donde:

$t_{n,n+1}$  es el tiempo que tarda el vehículo en recorrer dicho tramo, en s

Ya con todo este cálculo, se obtiene el consumo en cada tramo y, se puede extrapolar al consumo que necesita el camión para recorrer cada 100 kilómetros, para así, finalmente, poder sacar un consumo medio cada 100 kilómetros recorridos.

Este cálculo es clave, dado que es uno de los datos importantes a introducir en el programa Acotram.

Introduciendo este dato calculado con los demás requeridos por Acotram, se obtiene en dicho programa el coste por kilómetro de toda la operación. Veremos los datos obtenidos en el apartado RESULTADOS.

Los demás datos requeridos por Acotram, además del consumo de combustible, son:

- Características técnicas:
  - o Características esenciales del vehículo: MMA y número de ejes.
  - o Actividad: Kilómetros recorridos y horas trabajadas al año.
- Costes fijos:
  - o Vehículos: Adquisición y amortización tanto de la cabeza tractora como del semirremolque.
  - o Salariales: Coste de la mano de obra del conductor (son su respectivo coste de seguro y fiscales).
- Costes variables:
  - o Aquí es donde introducimos el consumo explicado anteriormente.
  - o Mantenimiento y reparaciones.
  - o Neumáticos: Compra de neumáticos a los 135.000 kilómetros.

Introduciendo todos estos datos, Acotram calcula automáticamente la estructura de costes con los valores de cada componente, además del coste final por kilómetro.

En el ANEXO II se mostrará, junto al fichero Excel del cálculo del consumo, como se introducen los datos en el programa Acotram.

## 2.2. TRANSPORTE FERROVIARIO

En el caso del transporte ferroviario (realmente intermodal, ya que lleva implícito un acarreo), la metodología seguida ha sido un poco diferente.

A diferencia del transporte por carretera en el cual se ha diseñado todo partiendo de cero ayudándonos del programa Acotram, en el transporte por tren se ha partido de la base de un simulador de costes creado en un fichero Excel por un alumno en su tesis doctoral.

La tesis fue elaborada en el año 2015 por el alumno Jesús Medrano Bosque y el título de ésta es “Análisis de la influencia de la operativa y la explotación ferroviaria en la estructura de costes del transporte intermodal”. Si bien, se ha adaptado y modificado según las necesidades requeridas para la ejecución de este trabajo.

En el ANEXO III se muestra en profundidad como es el funcionamiento del simulador creado por el alumno, adjuntando imágenes descriptivas.

Brevemente, básicamente el simulador consiste en calcular el coste total de la operación de transporte a partir de tres bases de datos, las cuales contienen cada una los datos necesarios para cada una de las tres operaciones que se realizan en el transporte intermodal, que son: acarreo, transbordo y transporte ferroviario.

- Acarreo:

Esta operación consiste en el transporte por camión necesario desde el punto de recogida de la mercancía hasta la terminal ferroviaria, donde realizaremos la operación de transbordo para trasladar el contenedor con su mercancía del camión al tren.

Los datos de esta operación se encuentran en la pestaña del simulador llamada METADATOS\_ACARREO, explicada en los anexos.

En ella, encontramos los costes del combustible, de adquisición y amortización de la tractora y el semirremolque, salariales, de gestión y mantenimiento y el consumo del acarreo.

Esta pestaña se ha adaptado y diseñado tanto por medio de la actualización de los costes del observatorio de costes de 2014, a los especificados por el observatorio de costes de 2017 proporcionados por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agencia Urbana (MITMA), como mediante la adaptación al perfil de nuestra empresa, a nuestras rutas y consumos, y a los tipos de contenedores que vamos a estudiar.

- Transbordo:

El transbordo es básicamente el traspaso del contenedor con su mercancía (en el caso de ir cargado, si no sería únicamente el contenedor en vacío) del semirremolque del camión al vagón del tren.



Figura 6. Operación de transbordo. Fuente: SpanishSports

Esta operación es realizada directamente por Adif en sus terminales. Dado que no tenemos acceso a los datos y costes de Adif, se han utilizado directamente los datos de partida propuestos por el alumno en su tesis. Él los origino preguntando directamente a Adif y éstos se los proporcionaron. Si bien, se ha aplicado un coeficiente corrector sobre ellos de 1.1 (aumento del 10%), para aproximar los costes que tenían en 2014 a los que pueden tener ahora en 2022.

En este caso, los costes de esta operación se encuentran en la pestaña METADATOS\_TRANSBORDO, también se muestran imágenes de ella en los anexos. En ella, se puede observar que Adif tiene dos modelos de costes: Modelo A, si se produce en instalaciones exteriores; Modelo B, si se produce en instalaciones interiores. En nuestro caso, vamos a partir de la hipótesis de que empleamos siempre el Modelo B.

Entonces, los costes que tendremos en la operación de transbordo según el Modelo B son los costes asociados al acceso y expedición de trenes y los costes de manipulación de las unidades de transporte intermodal (contenedores).

- Transporte por ferrocarril:

Por último, queda la operación más relevante, el transporte por tren propiamente dicho. Como su nombre indica, es básicamente el desplazamiento del tren cargado con sus contenedores (ya estén completamente cargados, a media carga o en vacío) desde el punto de origen hasta el punto de destino.

Aquí, encontramos costes de consumo (ya sea la locomotora impulsada por combustible Diesel o eléctrica), personal, de adquisición y amortización de la locomotora y plataforma, canon de reserva y mantenimiento.

La base de datos relativa al transporte ferrocarril se encuentra en la pestaña del fichero Excel denominada METADATOS\_FERROCARRIL, véase su configuración en el ANEXO III.

En este caso, adaptaremos únicamente los costes de consumos, según nuestras rutas y precios actuales. El resto, tomaremos como base los empleados por el alumno que origino el simulador.

Para obtener los consumos que tendría el tren según la ruta se ha utilizado la herramienta Ecotransit, una página web a través de la cual obtenemos el consumo energético (ya sea eléctrico o diésel) introduciendo únicamente el número de contenedores, el tipo de tracción de la locomotora, el factor de aprovechamiento y, el origen de la ruta y el destino de ésta. La dirección web es: [www.ecotransit.org](http://www.ecotransit.org).

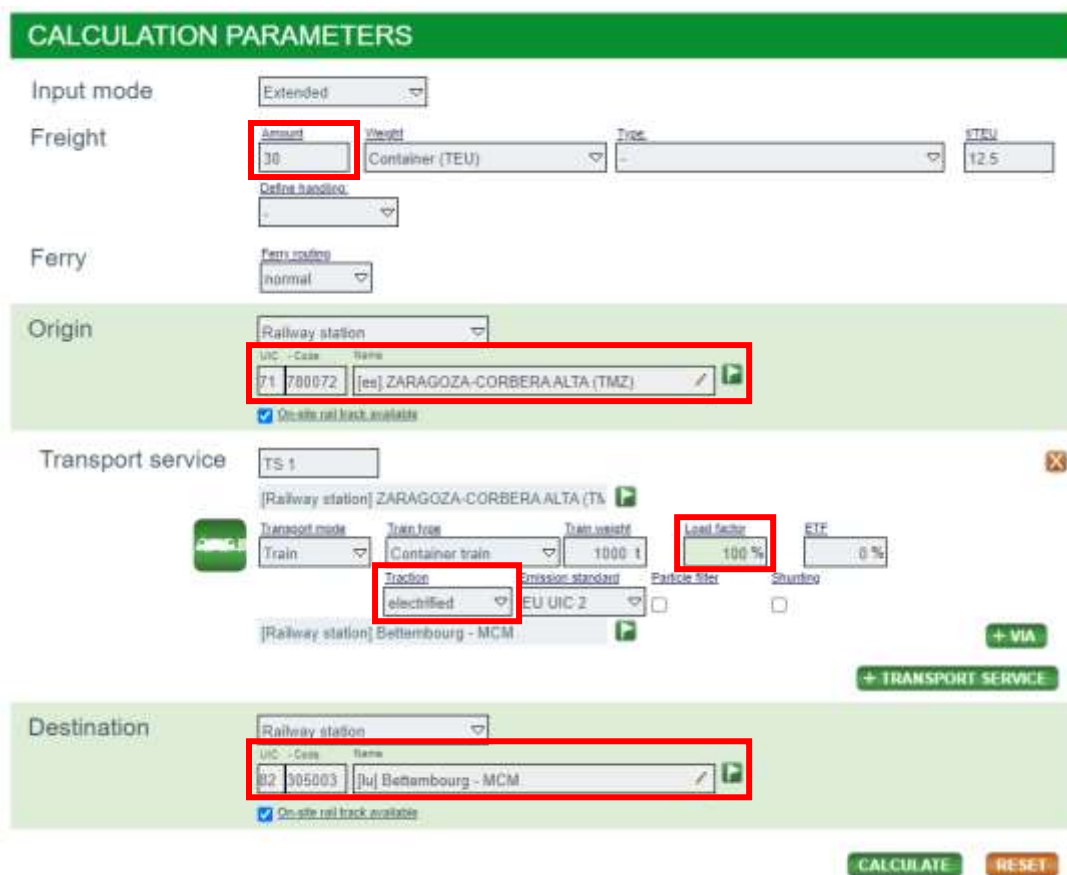


Figura 7. Parámetros a introducir en Ecotransit

Una vez adaptados todas las bases de datos que tenemos, lo único que se ha de hacer es ir a la pestaña de CÁLCULO y generar los costes de todas las operaciones seleccionando los parámetros necesarios.

Los parámetros que se han de seleccionar (casillas subrayadas en verde) son:

- De carácter general: Peso de la carga, tipo de mercancía y contenedor y factor de aprovechamiento.

- Operación de Acarreo: Plataforma a emplear (según tipo de carga), distancia hasta terminal y orografía (para obtener el consumo).
- Operación de Transbordo: Modelo empleado y días de tránsito por la instalación.
- Operación de Transporte: Volumen de tráfico anual, impulso por combustible o eléctrico, número de contenedores y tipo de operación, tipo de línea para obtener los cánones, ruta y distancia entre terminales.

Así, obtendríamos los costes del transporte ferroviario para cada ruta de transporte y tipo de carga a transportar. Una vez todo calculado, se podría comparar ya con el transporte por carretera y ver cuál de los dos sería más económicamente rentable.

La pestaña CÁLCULO también está descrita e ilustrada en el ANEXO III.

### 2.2.1. AUTOPISTA FERROVIARIA

El concepto de autopista ferroviaria consiste en mezclar transporte por camión y transporte por tren. Se hace transportando la mercancía desde un punto hasta otro por camión y, una vez ahí llegados al segundo punto, cargando el contenedor con su semirremolque en un vagón del tren. A diferencia del transporte ferroviario, en este caso no se carga solo el contenedor, sino también el semirremolque. En algunos casos se llega a cargar todo el conjunto (cabeza tractora, semirremolque y contenedor) incluso.



Figura 8. Modalidades de carga en transporte ferroviario. Fuente: Cinco Días, periódico El País

Esta metodología de transporte está cogiendo más popularidad con el tiempo, dado que teóricamente supone varias ventajas. Con ella se mejora la circulación, dado que descongestiona las carreteras; se reduce el impacto medioambiental al ahorrarse el transporte por camión, reduciendo el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> y; según la teoría se reducen los costes económicos, ya que las cabezas tractoras y los conductores no viajan durante esos kilómetros.

Así pues, la ruta Zaragoza – Bettembourg es perfecta para confeccionar este estudio, ya que existe una autopista ferroviaria desde Le Boulou hasta Bettembourg.

Por lo tanto, únicamente para ella se comparará, además del transporte por camión y el transporte por tren, esta variante especial, la autopista ferroviaria.

Como se ha mencionado, entonces, el tramo desde Zaragoza hasta Le Boulou se estudiará empleando el sistema de cálculo de costes de transporte por carretera y, el tramo Le Boulou hasta Bettembourg utilizando el simulador de transporte ferroviario.

La intención es verificar si la rentabilidad sería mayor o no.

### 3. HIPÓTESIS DE CÁLCULO Y ESTUDIOS PREVIOS

Antes de comenzar a exponer los resultados finales del coste de transporte por camión y tren según cada ruta, se han de definir los datos de partida, las hipótesis y los cálculos previos obtenidos que se han efectuado para poder introducir los datos requeridos en Acotram y en el simulador y obtener el coste final.

i. Transporte por carretera:

En primer lugar, para el transporte por camión, es de vital relevancia definir cuáles serán los pesos de los vehículos, dado que el peso es un parámetro clave para el cálculo del consumo. El peso dependerá del tipo de carga a transportar, ya que está definirá cual será el tipo de contenedor empleado.

Vehículo	Tipo de carga	Tara (kg)
<b>Cabeza tractora</b>	Todas	7.500
<b>Semirremolque</b>	Todas (excepto porta-vehículos)	5.000
<b>Contenedor 40"</b>	Carga general a peso y vol.	4.000
<b>Contenedor frigorífico</b>	Frigorífico	4.000
<b>Tolva</b>	Granel	3.500
<b>Porta-vehículos</b>	Porta-vehículos	6.000

Tabla 1. Tara de cada vehículo a estudiar

La cabeza tractora se presupone que es la misma para todas las rutas y tipo de mercancía posible. Cabe mencionar que la Masa Máxima Autorizada (MMA) es en todos los casos 40.000 kilogramos. Así pues, los pesos de los conjuntos serán:

Tipo de carga	Tara (kg)	Carga útil (kg)	Mercancía (kg)	Peso final (kg)
<b>Carga general (a peso)</b>	16.500	23.500	23.500	40.000
<b>Carga general (a volumen)</b>	16.500	23.500	11.750	28.250
<b>Granel</b>	16.000	24.000	24.000	40.000
<b>Frigorífico</b>	16.500	23.500	23.500	40.000
<b>Porta-vehículos</b>	13.500	26.500	10.000	23.500

Tabla 2. Pesos según el tipo de carga a transportar

El peso de la mercancía a cargar es igual al disponible menos en el caso de carga general cargado a volumen y el caso de porta-vehículos. En el caso de carga general a volumen es aproximadamente el 50% de la carga útil, mientras que el peso de la mercancía en el caso del porta-vehículos será aproximadamente 10.000 kilogramos (10 vehículos de media cargados de 1 tonelada cada uno). Los demás van con la carga completamente cargada y optimizada.

Otra de las hipótesis importantes que se han tenido en cuenta es que, excepto para las cargas a granel y porta-vehículos, tanto la ida y la vuelta serán al 100% de la carga. Sin embargo, para la carga a granel y para los porta-vehículos, se va a considerar que la ida es al 100% de la carga y la vuelta en vacío, ya que no hay oportunidad de cargar los contenedores en el lugar de destino.

También, como se mencionó al principio del trabajo, el coeficiente de rozamiento con el suelo se ha considerado constante para toda ruta y carga, consiguiendo así homogeneizar y simplificar el cálculo.

$C_{Tr}$	$\mu_r$	Descripción
0,0002 a 0,001 <sup>1 2</sup>	0,5 mm	Ruedas de ferrocarril sobre raíles de acero
0,001 a 0,0015	0,1 mm	Rodamientos de bolas en acero sobre acero
0,0025 <sup>3</sup>		Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-marathon
0,005		Raíles estándar de tranvía
0,0055		Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares <sup>3</sup>
0,006 a 0,01		Neumáticos de automóvil de baja resistencia y neumáticos de camión sobre carretera lisa
0,010 a 0,015 <sup>4</sup>		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre losas de piedra
0,020		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hormigón
0,030 a 0,035		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto
0,055 a 0,065		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena
0,3 <sup>4</sup>		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena

Figura 9. Coeficientes de rozamiento para diferentes superficies y neumáticos. Fuente: Wikipedia

Se observa que, para neumático de camión y superficie lisa, el valor ha de estar entre 0,006 y 0,01. En nuestro proyecto emplearemos para todos los casos 0,0075.

Ahora ya sí, sabiendo cuáles serán los pesos dependiendo del tipo de mercancía y las hipótesis mencionadas, se puede calcular los consumos para cada ruta y cada carga. A través de ellos y los demás datos previos necesarios a introducir (expuestos en Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9) Acotram calcula los costes de transporte por camión.

El cálculo de los consumos está explicado con un ejemplo en el ANEXO II.

Todos los valores de consumos expuestos están evaluados cada 100 kilómetros. Según el tipo de carga los consumos son:

- Carga general (a peso) y Frigorífico:

Como el único parámetro que varía los consumos entre un tipo de carga y otra para la misma ruta es el peso, en estos dos casos los consumos son iguales en cada ruta dado que van cargados siempre al 100% y su peso se supone que es siempre la MMA (40.000 kgs).

Ruta	Consumo Ida (l/100km)	Consumo Vuelta (l/100km)	Consumo Medio (l/100km)
Zaragoza – Bilbao	30,71	31,59	31,15
Zaragoza – Barcelona	30,87	31,94	31,405
Zaragoza – Valencia	31,35	32,43	31,89
Zaragoza – Algeciras	30,90	31,25	31,075
Zaragoza – Vigo	32,20	32,59	32,395
Zaragoza – Lisboa	30,18	30,78	30,48
Zaragoza – Paris	28,16	26,41	27,285
Zaragoza – Bettembourg	29,51	29,44	29,475

Tabla 3. Consumos calculados por ruta para carga general a peso y frigorífica

- Carga general (a volumen):

Ruta	Consumo Ida (l/100km)	Consumo Vuelta (l/100km)	Consumo Medio (l/100km)
Zaragoza – Bilbao	26,85	27,47	27,16
Zaragoza – Barcelona	26,88	27,63	27,255
Zaragoza – Valencia	27,22	27,98	27,60
Zaragoza – Algeciras	26,90	27,14	27,02
Zaragoza – Vigo	27,82	28,09	27,955
Zaragoza – Lisboa	26,21	26,64	26,425
Zaragoza – Paris	24,79	23,21	24,00
Zaragoza – Bettembourg	25,80	25,75	25,775

Tabla 4. Consumos calculados por ruta para carga general (a volumen)

- Granel:

Ruta	Consumo Ida (l/100km)	Consumo Vuelta (l/100km)	Consumo Medio (l/100km)
Zaragoza – Bilbao	30,71	23,17	26,94
Zaragoza – Barcelona	30,87	23,14	27,005
Zaragoza – Valencia	31,35	23,34	27,345
Zaragoza – Algeciras	30,90	22,86	26,88
Zaragoza – Vigo	32,20	23,40	27,80
Zaragoza – Lisboa	30,18	22,31	26,245
Zaragoza – Paris	28,16	19,88	24,02
Zaragoza – Bettembourg	29,51	21,90	25,705

Tabla 5. Consumos calculados por ruta para carga a granel

Para el cálculo del coste final, utilizaremos el consumo de combustible medio que hay entre la ida y la vuelta. Se hace así porque Acotram realiza sus cálculos con promedios, no lo hace distinguiendo entre ida y vuelta, por lo que se ha decidido hacerlo de esta manera para que todo sea homogéneo y coherente.

- Porta-vehículos:

Ruta	Consumo Ida (l/100km)	Consumo Vuelta (l/100km)	Consumo Medio (l/100km)
Zaragoza – Bilbao	25,29	22,30	23,795
Zaragoza – Barcelona	25,26	22,23	23,745
Zaragoza – Valencia	25,55	22,39	23,97
Zaragoza – Algeciras	25,28	21,99	23,635
Zaragoza – Vigo	26,04	22,45	24,245
Zaragoza – Lisboa	24,60	21,43	23,015
Zaragoza – Paris	23,42	19,20	21,31
Zaragoza – Bettembourg	24,30	21,11	22,705

Tabla 6. Consumos calculados por ruta para carga porta-vehículos

Se observa claramente que para las cargas cuyo peso es mayor, como es el caso de la carga general cargada a peso o la carga en contenedor frigorífico, el consumo será también mayor. Conforme va disminuyendo el peso total del vehículo cargado, el consumo se reduce.

Únicamente solo faltaría determinar el resto de los datos que se deben de introducir en Acotram. Éstos, junto a los consumos y a los datos que van incluidos al descargar la información del observatorio de costes de 2017, determinarán el coste final. El resto de los datos a introducir por el usuario, los cuales serán constantes para toda ruta y carga, son:

- Características técnicas:

MMA del vehículo	40.000 kg
Carga útil	Según tipo de carga (Tabla 2)
Factor de aprovechamiento	50% granel y porta-vehículos – 100% resto
Kilómetros recorridos	150.000 km

Tabla 7. Características técnicas introducidas en Acotram

- Costes fijos:

Precio cabeza tractora	105.000 €
Amortización cabeza tractora	8 años
Precio semirremolque	Según tipo de carga (Tabla 9)
Amortización semirremolque	10 años
Salario conductor	35.000 €/año

Tabla 8. Costes a introducir por el usuario en Acotram

El precio del semirremolque dependerá de cuál es la carga que necesitamos transportar:

Tipo de carga	Tipo de semirremolque	Precio
Carga general (a peso y vol.)	Contenedor 40"	30.000 €
Frigorífico	Contenedor frigorífico	40.000 €
Granel	Tolva	38.000 €
Porta-vehículos	Plataforma porta-vehículos	34.000 €

Tabla 9. Precios de los semirremolques introducidos por el usuario en Acotram

Los demás costes, como es el caso de mantenimiento, reparaciones, neumáticos, etc., son automáticamente introducidos por Acotram al descargarnos el observatorio de costes de 2017. Así, con todo lo que se ha mencionado, ya se podría proceder a la obtención del cálculo.

ii. Transporte ferroviario:

Como se ha mencionado en la descripción de la metodología a seguir para el transporte ferroviario, éste consta de tres operaciones o etapas a lo largo de su proceso. Se ha partido de diferentes hipótesis o datos previos según la operación.

El primer punto a mencionar es que la principal hipótesis de partida es que se transportarán quince contenedores en cada viaje ferroviario.

Para una más profunda observación de los datos de partida se ha de ir al ANEXO III, donde están adjuntas imágenes con los datos fijos y constantes que tiene el simulador.

- Acarreo:

En esta primera operación, se ha modelado la base de datos básicamente cogiendo los valores obtenidos en el estudio del transporte por carretera.

Si bien, para los consumos al no tener la misma distancia, dado que en esta operación únicamente se traslada el camión desde el inicio de la ruta hasta la terminal ferroviaria y no desde el origen hasta el destino final, los consumos no pueden ser los mismos.

Para este caso, se han utilizado como hipótesis previas los siguientes rangos de consumos.

		Suave	Media	Montañosa
26-30	Vacio	26	28	30
30-33	Media Carga	30	31.5	33
33-38	Carga completa	33	35.5	38

Figura 10. Consumos empleados en la operación de acarreo. Fuente: Tesis doctoral de Jesús Medrano.

Se observa, que generalmente los consumos son superiores a los obtenidos en el estudio del transporte por carretera. Esto es debido a que el acarreo se produce en su totalidad por vía urbana, lo que conlleva que haya resistencia a la inercia al estar continuamente acelerando y decelerando.

Para nuestro estudio, utilizaremos siempre orografía Suave, ya que en nuestros casos el acarreo se produce en zonas planas, como puede ser el trayecto del polígono logístico de Plaza en Zaragoza a la terminal de Adif en Cogullada o el trayecto de la terminal de Adif en Bilbao al puerto de Bilbao.

Emplearemos el consumo de 33 l/100km cuando vaya completamente cargado (en la mayoría de los casos) y, como excepción, 26 l/100km cuando el retorno se tenga que hacer en vacío (caso de carga a granel o porta-vehículos).

Los demás datos de partida están expuestos en el apartado METADATOS\_ACARREO del ANEXO III.

- Transbordo:

Respecto a la operación de transbordo, se han empleado los costes operativos de Adif del año 2014, aplicándoles un aumento correctivo del 10% para equiparlos a los costes aproximados que podrían tener ahora en 2022.

Como únicamente se utilizará el modelo B de transbordo como hipótesis de partida para todos los casos, los costes según el tipo serán:

Tipo de coste	Coste unitario	Operaciones por cada viaje
<b>Acceso o expedición de trenes</b>	40,59 € / operación	2
<b>Manipulación de contenedores</b>	24,70 € / operación	15

Tabla 10. Costes en la operación de transbordo. Fuente: Tesis doctoral de Jesús Medrano.

Se realizan una operación de acceso y otra operación de expedición de tren por cada viaje, ya sea ida o sea vuelta, como puede parecer obvio, y quince operaciones de manipulación ya que transportamos quince contenedores.

- Transporte por ferrocarril:

Para esta última operación, los datos de partida son básicamente los costes de cánones de acceso, reserva y circulación; perfil de la empresa ferroviaria; salario de maquinista y; perfil de la locomotora y plataforma. Los valores generales de estos datos están adjuntos en el apartado METADATOS\_FERROCARRIL del ANEXO III.

Los costes de cánones sí que se pueden ver a continuación. Estos dependerán del tipo de línea que tenemos en cada ruta. Los demás costes (adjuntos en el anexo) son constantes para toda ruta y carga.

<b>Canon de Acceso (Modalidad A)</b>		
<b>Nivel</b>	<b>Volumen de Tráfico</b>	<b>€/ Año</b>
N1.A	≤0,2 millones km/Tren-año	13.120,36
N1.B	>0,2 y ≤ 0,5 millones de km/Tren-año	32.800,91
N1.C	>0,5 y ≤ 1 millones de km/Tren-año	65.601,81
N2.A	>1 y ≤ 2,5 millones de km/Tren-año	115.028,32
N2.B	>2,5 y ≤ 5 millones de km/Tren-año	164.004,55
N2.C	>5 y ≤ 10 millones de km/Tren-año	360.810,01
N3.A	>10 y ≤ 15 millones de km/Tren-año	754.420,93
N3. B	>15 y ≤ 20 millones de km/Tren-año	1.541.642,76
N3. C	>20 y ≤ 30 millones de km/Tren-año	1.541.642,76
N3. D	>30 y ≤ 40 millones de km/Tren-año	1.541.642,76
N3. D	>40 y ≤ 50 millones de km/Tren-año	1.541.642,76
N3. F	>50 millones de km/Tren-año	1.541.642,76

Figura 11. Canon de acceso según tipo de vía ferroviaria. Fuente: Tesis doctoral de Jesús Medrano.

CANON DE RESERVA DE CAPACIDAD		
Periodo Horario	Tipo Linea	€/Tren-Km. reservado
PUNTA	A1-Punta	0,57
	A2-Punta	0,57
	B1-Punta	0,57
	C1-Punta	0,33
	C2-Punta	0,33
NORMAL	A1-Normal	0,57
	A2-Normal	0,57
	B1-Normal	0,57
	C1-Normal	0,05
	C2-Normal	0,05
VALLE	A1-Valle	0,57
	A2-Valle	0,57
	B1-Valle	0,57
	C1-Valle	0,05
	C2-Valle	0,05

Figura 12. Canon de reserva según tipo de vía ferroviaria y período horario. Fuente: Tesis doctoral de Jesús Medrano.

CANÓN DE CIRCULACIÓN	
Tipo Linea	€/Tren-Km. Circulado
A1	0,5
A2	0,5
B1	0,5
C1	0,06
C2	0,06

Figura 13. Canon de circulación según el tipo de vía ferroviaria. Fuente: Tesis doctoral de Jesús Medrano.

Todas las rutas de estudio de este trabajo son consideradas tipo A1, debido a que en nuestro caso se cumple en todas ellas con las limitaciones de velocidad y volumen.

Además de estos datos mencionados anteriormente, como estudio previo hay que analizar cuál será el consumo según el tipo de locomotora, la carga y la ruta.

Los consumos los obtenemos a través de la herramienta web Ecotransit. En ella, únicamente hemos de seleccionar cual será la carga (número de contenedores y peso), si la locomotora es traccionada eléctricamente o por diésel, el factor de aprovechamiento y, por último, origen y destino de la ruta, véase la Figura 7.

Se ha de recordar que los datos de partida de pesos y factor de aprovechamiento serán los mismos que los de transporte por carretera. Los pesos los encontramos en la Tabla 2. Los factores de aprovechamiento serán 100%, tanto ida como vuelta, para todas las cargas, exceptuando carga a granel y porta-vehículos que tendrán un factor de 50% debido a que en la ida va completamente cargado y en la vuelta circula en vacío.

El número de contenedores a transportar en cada transporte ferroviario es de 15 unidades.

En todas las rutas la locomotora irá traccionada eléctricamente, exceptuando la ruta de Zaragoza a Valencia, la cual carece de vía eléctrica en todo su tramo, por lo que será traccionada por combustible diésel.

Introduciendo todos estos valores en EcoTransit, obtenemos los valores de consumo expuestos a continuación, tanto eléctricos evaluados en kWh/t.neta-100km como de combustible diésel evaluados en l/t.neta-100km, para cada tipo de ruta y de carga.

EcoTransit básicamente devuelve el valor del consumo energético tanto en kWh (cuando la tracción es eléctrica) como en litros de diésel equivalentes (cuando la tracción es por combustible diésel). Dividiendo estos valores por las toneladas del tren según cada carga y la distancia en kilómetros obtenemos los valores en las unidades mencionadas.

A continuación, se muestra un ejemplo. Se trata de la ruta Zaragoza – Bilbao con carga general a peso.

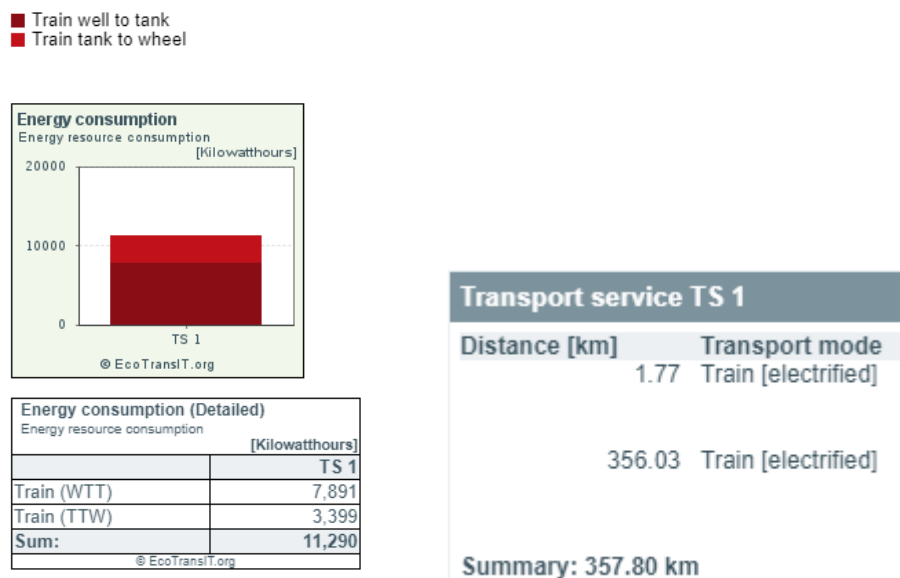


Figura 14. Resultados obtenidos en EcoTransit para Zaragoza – Bilbao y carga general a peso

Se observa que obtenemos 11.290 kWh para todo el trayecto. Si lo dividimos por las 375 toneladas netas (15 contenedores por 25.000 kg) y la distancia de 357,8 kilómetros, obtenemos un resultado de 0,0841 kWh/t.neta-km, lo que es igual a 8,41 kWh/t.neta-100km.

Comenzaremos obteniendo los consumos eléctricos, en este caso para los dos tipos de tracciones, ya que la tracción por combustible diésel también tiene consumo eléctrico.

Carga	General a peso	General a volumen	Frigorífico	Granel	Porta-vehículos	Tracción
Bilbao	8,41	8,41	8,41	20,94	10,47	Eléctrica
Barcelona	8,41	8,41	8,41	20,94	10,47	Eléctrica
Valencia	8,41	8,41	8,41	20,94	10,47	Eléctrica
Algeciras	8,37	8,37	8,37	20,83	10,41	Eléctrica
Vigo	8,34	8,41	8,34	20,94	10,47	Eléctrica
Lisboa	7,77	7,77	7,77	19,33	9,98	Eléctrica
Paris	10,73	10,73	10,73	26,70	13,35	Eléctrica
Bettembourg	10,74	10,74	10,74	26,73	13,37	Eléctrica

Tabla 11. Consumos en kWh/t.neta-100km para locomotora con tracción eléctrica

Carga	General a peso	General a volumen	Frigorífico	Granel	Porta-vehículos	Tracción
Bilbao	8,18	8,18	8,18	20,35	10,17	Diésel
Barcelona	8,18	8,16	8,18	20,35	10,17	Diésel
Valencia	8,18	8,18	8,18	20,35	10,17	Diésel
Algeciras	8,18	8,18	8,18	20,35	10,17	Diésel
Vigo	8,18	8,18	8,18	20,35	10,17	Diésel
Lisboa	8,18	8,18	8,18	20,31	10,17	Diésel
Paris	8,18	8,18	8,18	20,35	10,17	Diésel
Bettembourg	8,18	8,18	8,18	20,35	10,17	Diésel

Tabla 12. Consumos en kWh/t.neta-100km para locomotora con tracción diésel

Respecto a los consumos de combustible diésel, en este caso solo tendremos las locomotoras con tracción por diésel, las eléctricas obviamente no consumen combustible.

Carga	General a peso	General a volumen	Frigorífico	Granel	Porta-vehículos	Tracción
Bilbao	0,82	0,82	0,82	2,04	1,02	Diésel
Barcelona	0,82	0,82	0,82	2,04	1,02	Diésel
Valencia	0,82	0,82	0,82	2,04	1,02	Diésel
Algeciras	0,82	0,82	0,82	2,04	1,02	Diésel
Vigo	0,82	0,82	0,82	2,04	1,02	Diésel
Lisboa	0,82	0,82	0,82	2,04	1,02	Diésel
Paris	0,82	0,82	0,82	2,04	1,02	Diésel
Bettembourg	0,82	0,82	0,82	2,04	1,02	Diésel

Tabla 13. Consumos en l/t.neta-100km de diésel

Como bien se ha dicho, para la ruta desde Zaragoza a Valencia se cogerá los valores del tipo de tracción diésel, definidos en la Tabla 12 y en la Tabla 13. Para el resto, los valores de tracción eléctrica, situados en la Tabla 11.

Se puede observar que los consumos para los dos tipos de cargas generales y para la carga frigorífica son iguales, esto es debido a que el consumo está calculado por tonelada neta y éste es proporcional a la carga.

Para la carga a granel y porta-vehículos sí que varía debido a que el factor de aprovechamiento también varía. Al ser para estas dos cargas el factor de aprovechamiento 50% (ida completamente cargada y vuelta en vacío) y no 100% como las otras, el consumo por tonelada y por kilómetro aumenta ya que se consume lo mismo para menos carga transportada (vuelta en vacío).

Explicadas las hipótesis y estudios previos de las tres bases datos, se puede proceder a elaborar el cálculo de los costes seleccionando los parámetros necesarios en la pestaña de CÁLCULO del simulador. Los parámetros a seleccionar se muestran en el anexo como bien se ha comentado previamente.

iii. Autopista ferroviaria:

Se emplearán tanto las hipótesis mencionadas anteriormente para transporte por carretera para el trayecto Zaragoza – Le Boulou como las hipótesis mencionadas anteriormente para transporte ferroviario para el trayecto Le Boulou – Bettembourg.

Lo único que hay que obtener de nuevo son los consumos para ambos casos y trayectos, haciéndolo de la misma manera que anteriormente hacíamos para camión y tren. Así pues, obtenemos que:

- Trayecto en camión (Zaragoza – Le Boulou):

Carga	Consumo Ida (l/100km)	Consumo Vuelta (l/100km)	Consumo Medio (l/100km)
<b>General (a peso)</b>	31,09	31,55	31,32
<b>General (a vol.)</b>	27,04	27,35	27,20
<b>Frigorífico</b>	31,09	31,55	31,32
<b>Granel</b>	31,09	22,98	27,04
<b>Portavehículos</b>	25,39	22,09	23,74

Tabla 14. Consumos Zaragoza – Le Boulou de transporte por carretera

- Trayecto ferroviario (Le Boulou – Bettembourg):

Carga	Consumo	Tipo de tracción
<b>General (a peso)</b>	11,85	Eléctrica
<b>General (a vol.)</b>	11,85	Eléctrica
<b>Frigorífico</b>	11,85	Eléctrica
<b>Granel</b>	29,50	Eléctrica
<b>Portavehículos</b>	14,75	Eléctrica

Tabla 15. Consumos en kWh/t.neta-100km Zaragoza – LeBoulou de transporte ferroviario

Una vez tenemos todos los datos previos, únicamente hay que introducirlos en ambos simuladores y obtener los costes tanto por camión como por ferrocarril.

## 4. RESULTADOS

En este apartado se exponen los resultados obtenidos. Se definirán tanto el coste por kilómetro recorrido obtenido, como la repartición del coste total entre los diferentes tipos de componentes de coste que se tienen.

Para el transporte de carretera, ya se ha explicado que obtenemos los resultados importando los datos necesarios en Acotram. El programa devuelve directamente el coste por kilómetro y la estructura global de costes.

Sin embargo, de cara al transporte ferroviario, el simulador devuelve el coste total de realizar un envío con los 15 contenedores, por lo que se deberá calcular el coste por kilómetro dividiendo por la distancia de la ruta y, también, por los 15 contenedores para obtener el coste unitario y que sea comparable con el transporte por camión.

En el caso del transporte por camión, la estructura de costes la dividiremos entre: la amortización del vehículo, los intereses financieros de la adquisición del vehículo, costes de personal y dietas, de combustible, seguros, fiscales, de mantenimiento y reparaciones y coste de los neumáticos.

Por otro lado, para el tren únicamente obtendremos la repartición porcentual del coste de acarreo, de transbordo y de transporte directo ferroviario.

### 4.1. ZARAGOZA – BILBAO

#### 4.1.1. CARGA GENERAL (A PESO)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,938 €/km**.

La distribución porcentual del coste total según el tipo o componente de coste es de la siguiente manera:

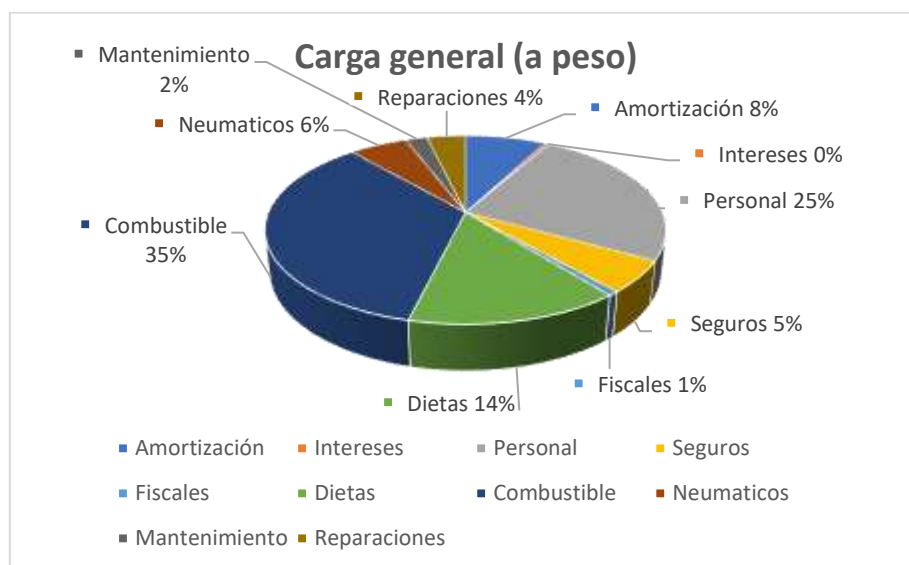


Gráfico 1. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao y carga general (a peso)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,890 €/km**.

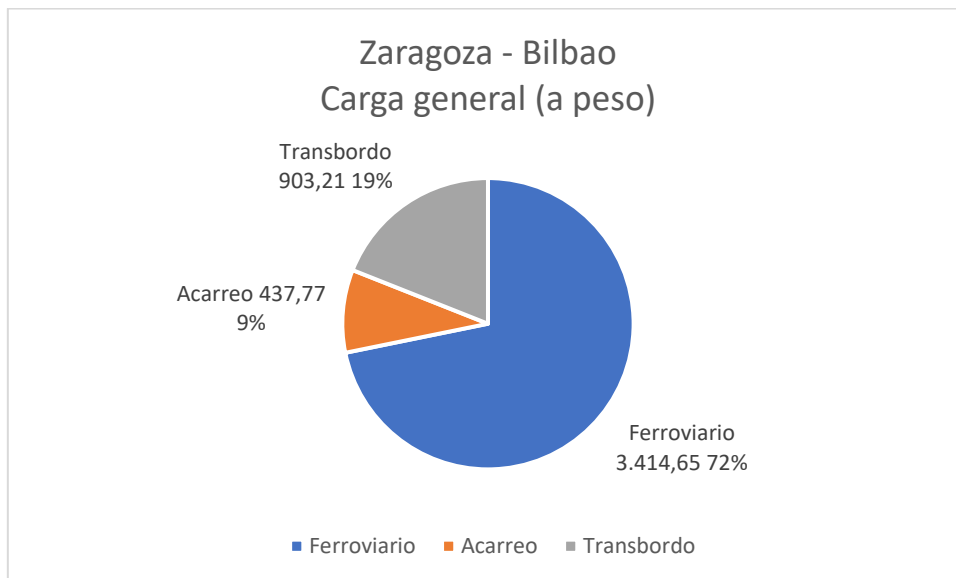


Gráfico 2. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao con carga general (a peso)

**4.1.2. CARGA GENERAL (A VOLUMEN)**

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,897 €/km**.

La distribución porcentual del coste total según el tipo o componente de coste es de la siguiente manera:

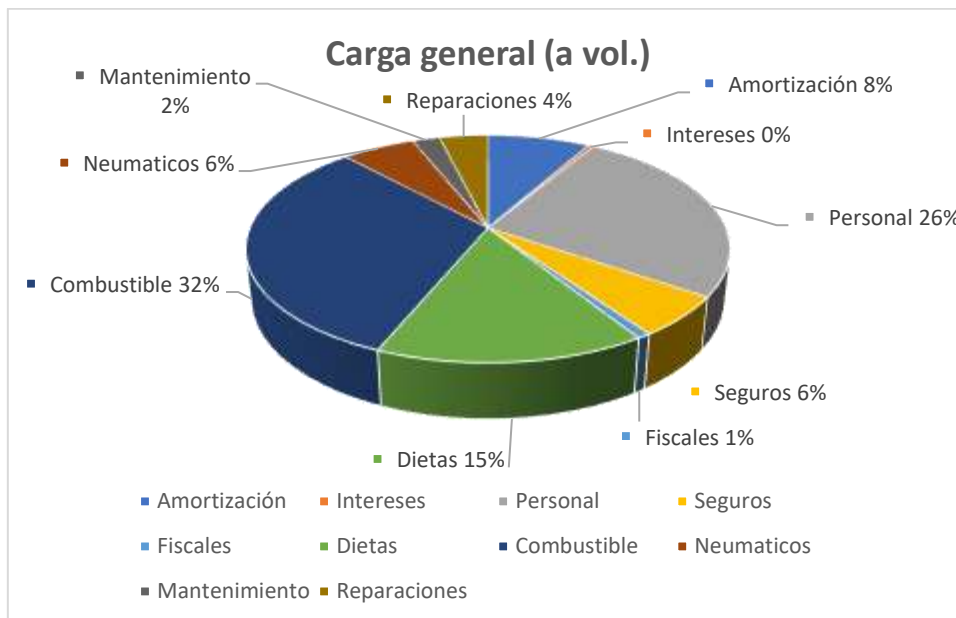


Gráfico 3. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao y carga general (a vol.)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,856 €/km**.

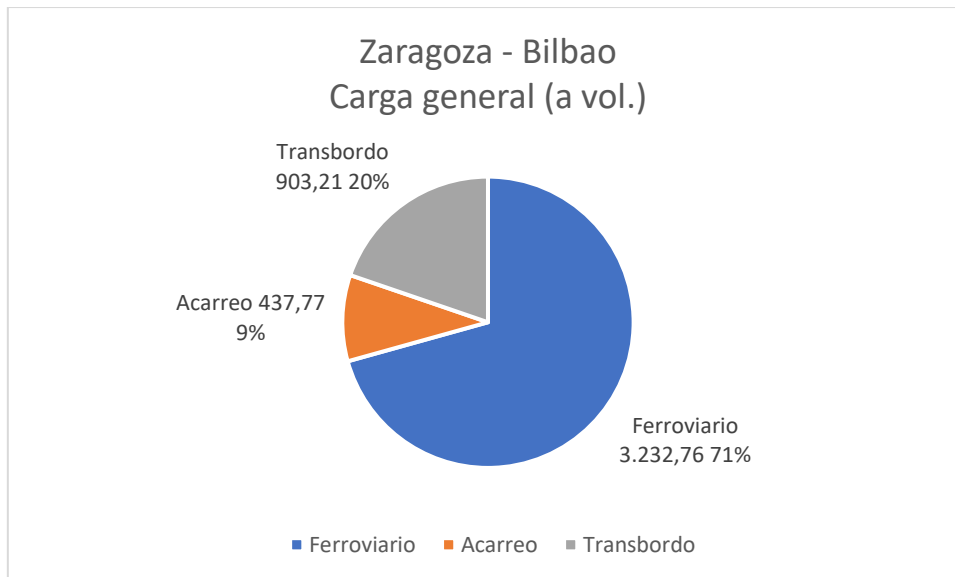


Gráfico 4. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao con carga general (a vol.)

#### 4.1.3. FRIGORÍFICO

##### - Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **1,004 €/km**.

La distribución porcentual del coste total según el tipo o componente de coste es de la siguiente manera:

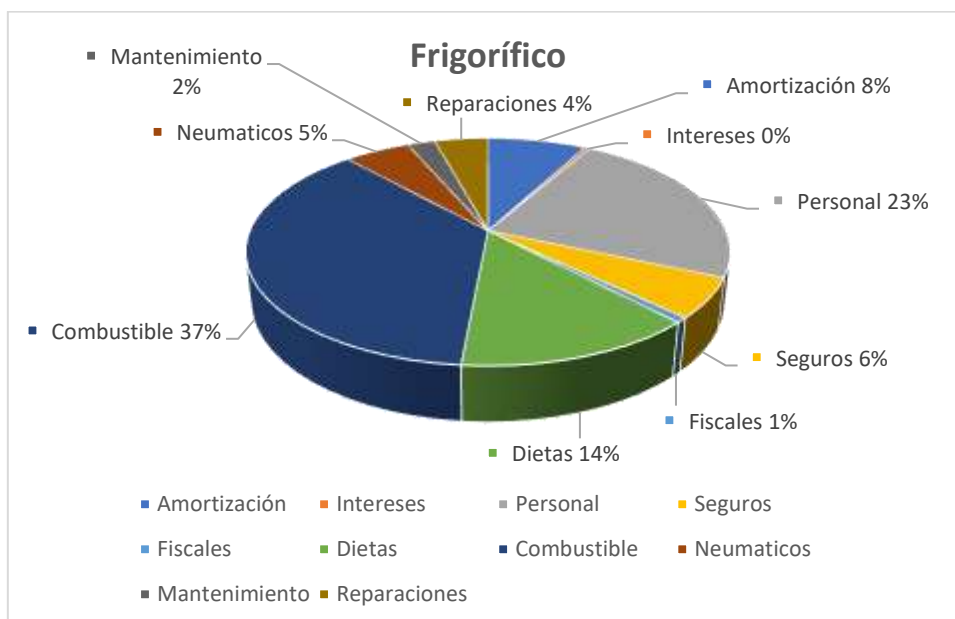


Gráfico 5. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao y carga frigorífica

##### - Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,891 €/km**.

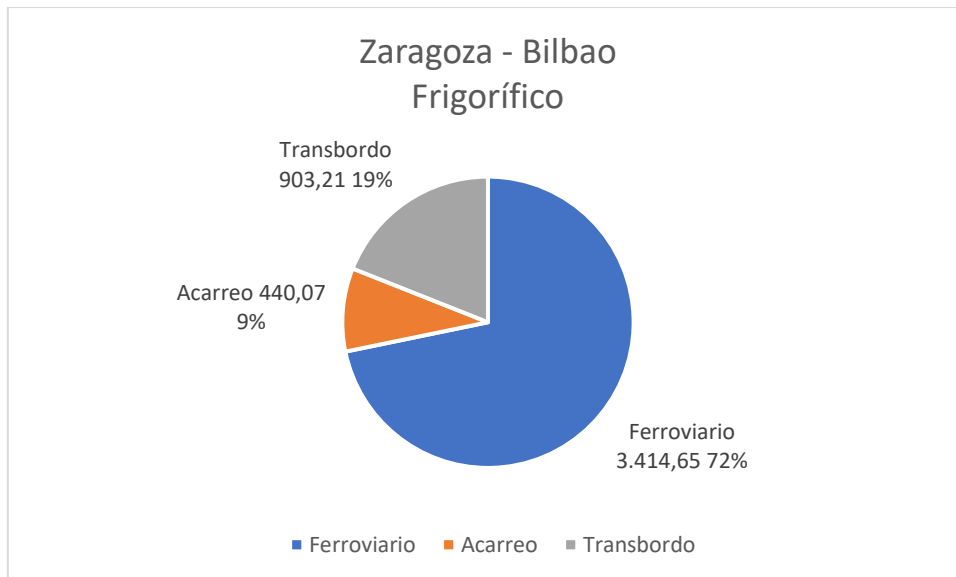


Gráfico 6. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao con carga frigorífica

#### 4.1.4. GRANEL

##### - Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,926 €/km**. No obstante, en este caso la vuelta siempre es en vacío, por lo que circula solo el 50% de los kilómetros en carga. Entonces, el coste por kilómetro recorrido en carga es **1,853 €/km**.

La distribución porcentual del coste total según el tipo o componente de coste es de la siguiente manera:

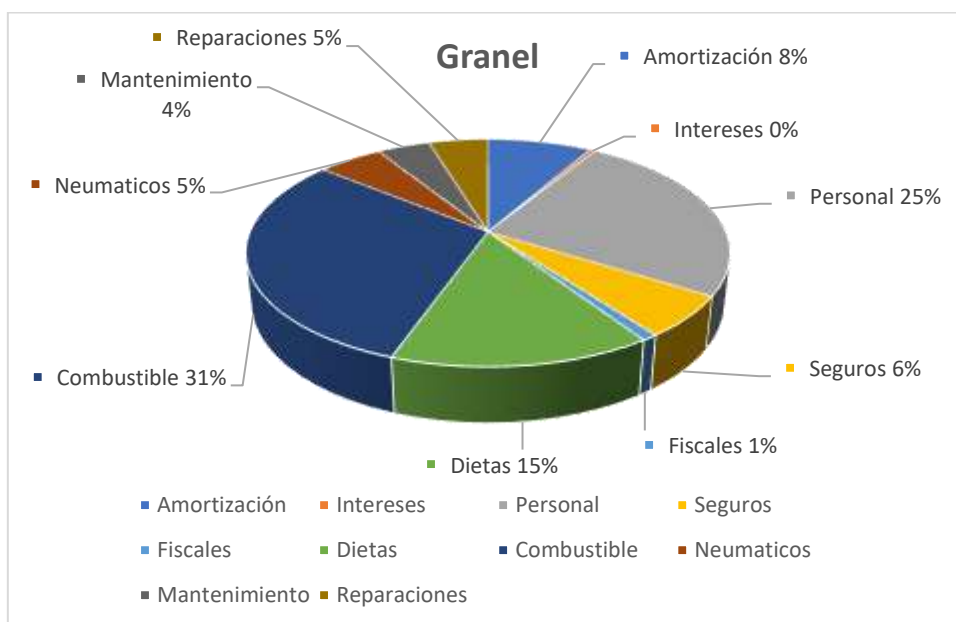


Gráfico 7. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao y carga a granel

##### - Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,862 €/km**.

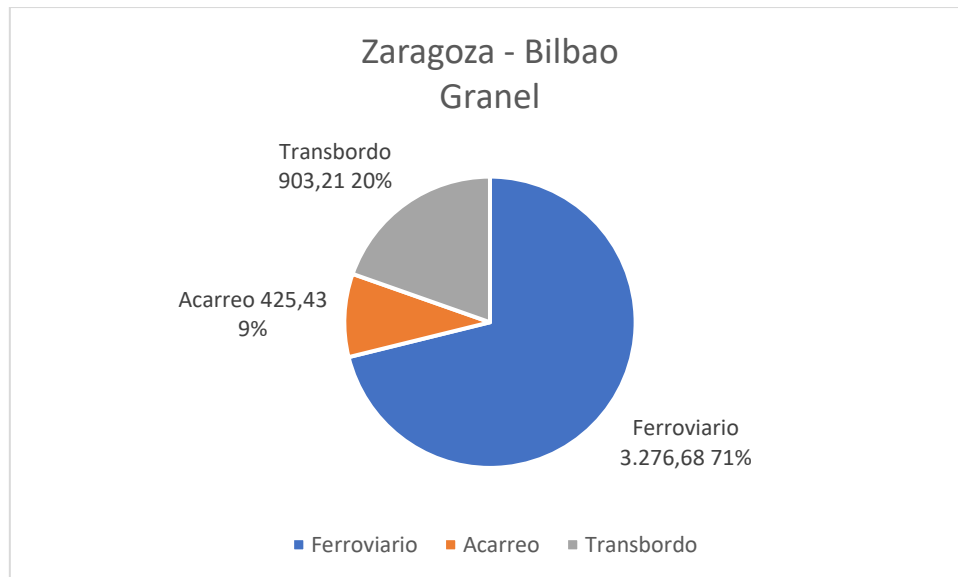


Gráfico 8. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao con carga a granel

#### 4.1.5. PORTAVEHÍCULOS

##### - Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,890 €/km**. Al igual que para la carga a granel, en este caso la vuelta también siempre es en vacío. Así pues, el coste por kilómetro recorrido en carga es 1,780 €/km.

La distribución porcentual del coste total según el tipo o componente de coste es de la siguiente manera:

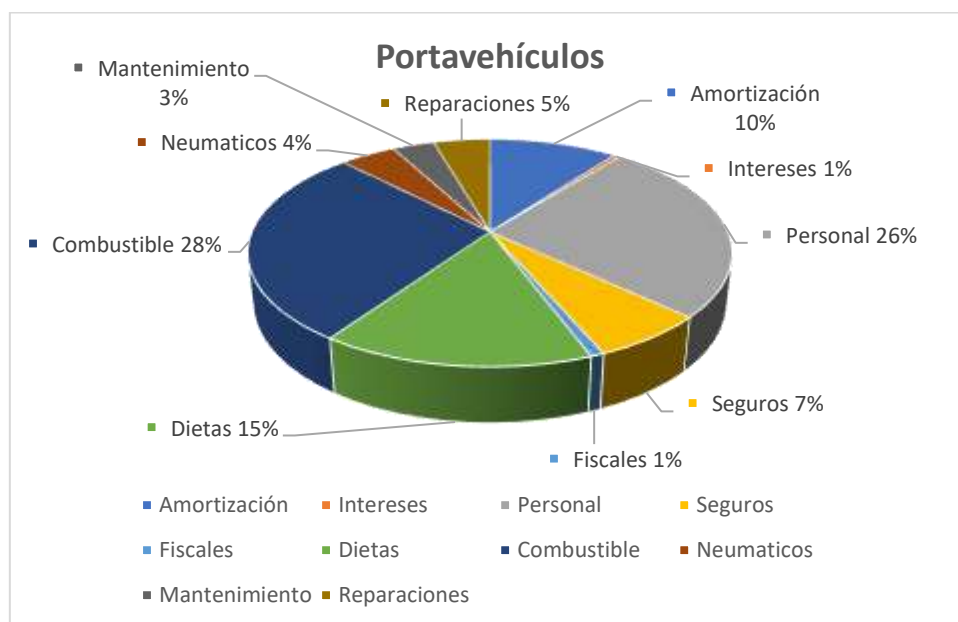


Gráfico 9. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao y carga porta-vehículos

##### - Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,842 €/km**.

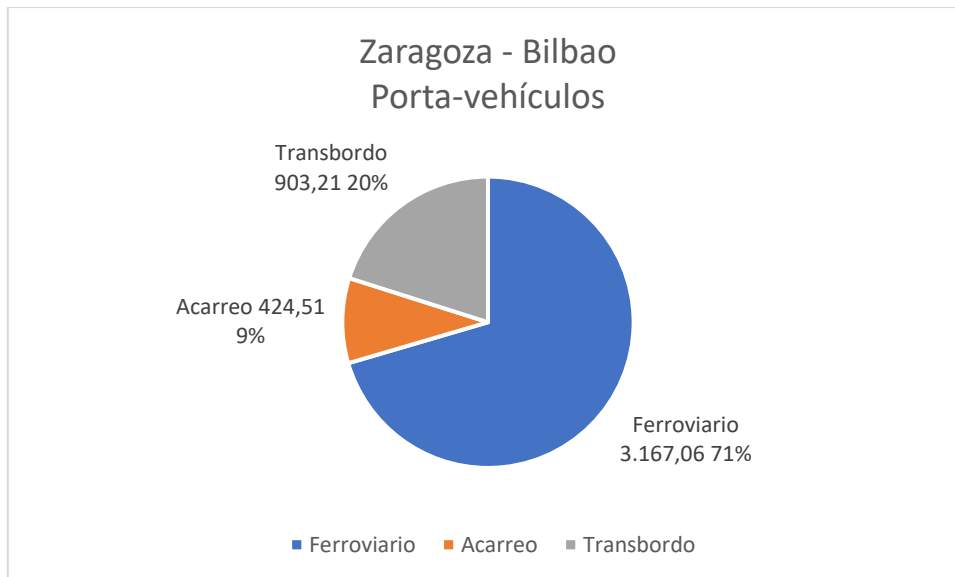


Gráfico 10. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bilbao con carga porta-vehículos

## 4.2. ZARAGOZA – BARCELONA

### 4.2.1. CARGA GENERAL (A PESO)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,938 €/km**.

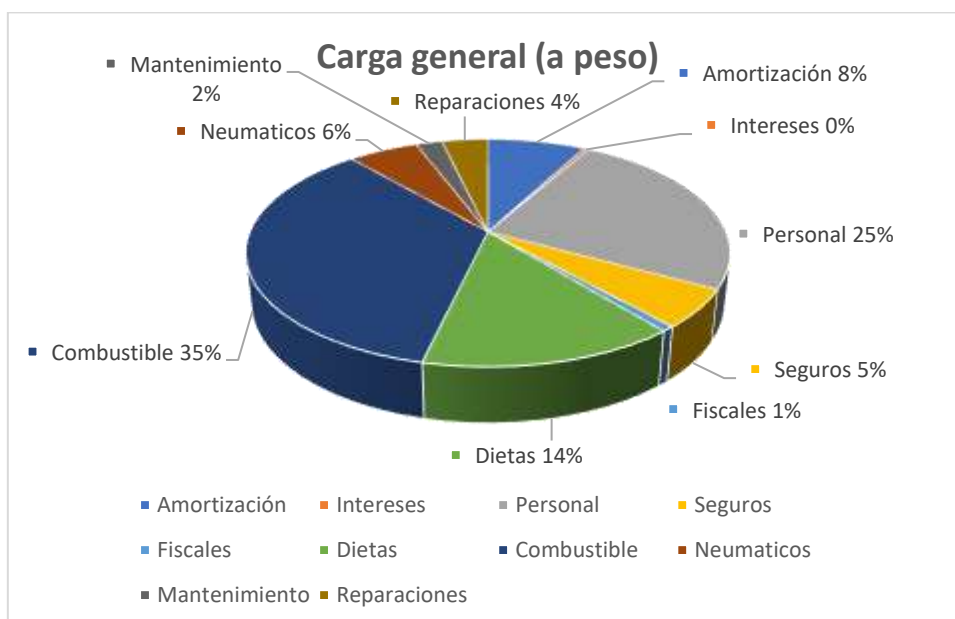


Gráfico 11. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona y carga general (a peso)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,933 €/km**.

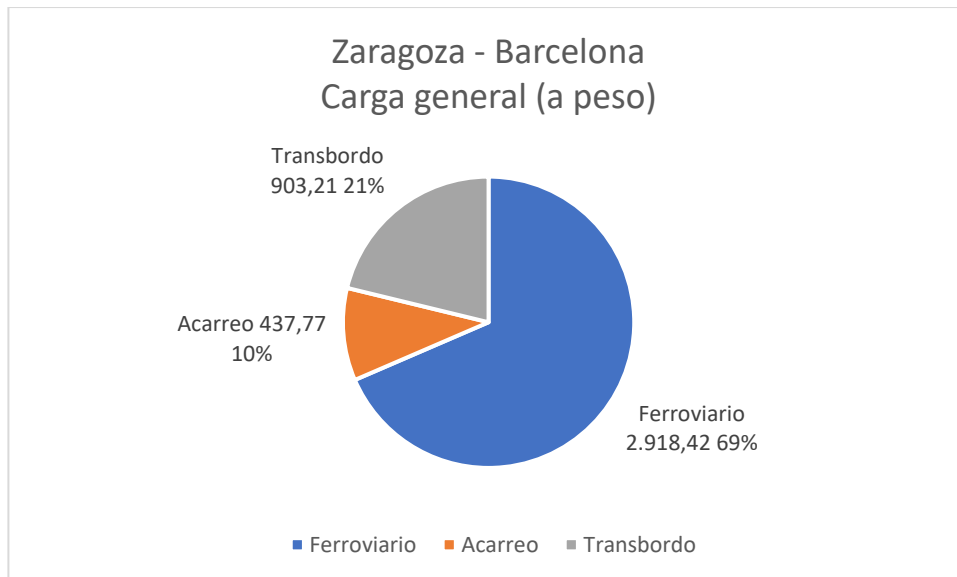


Gráfico 12. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona con carga general (a peso)

#### 4.2.2. CARGA GENERAL (A VOLUMEN)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,898 €/km.**

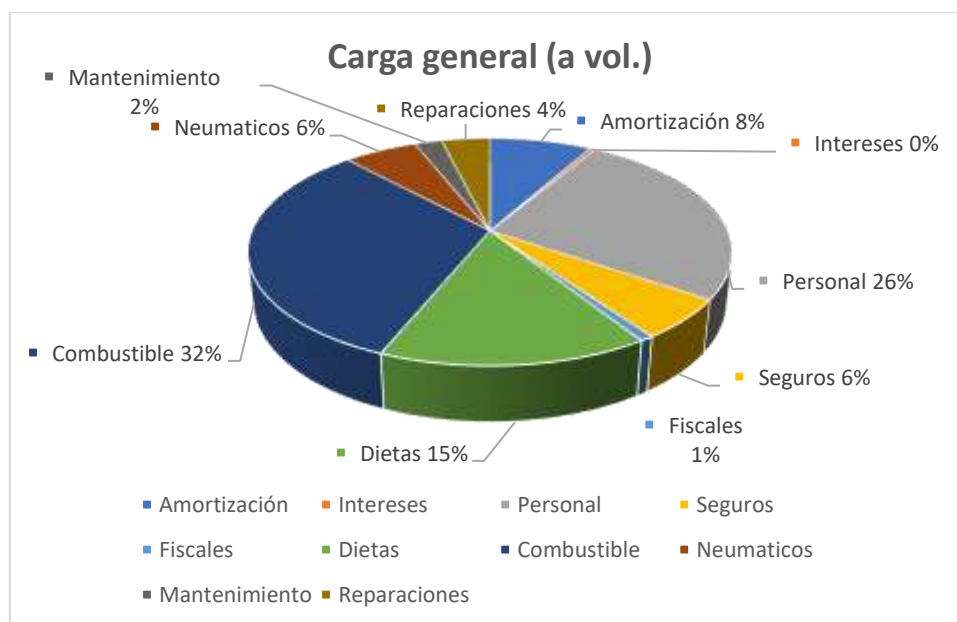


Gráfico 13. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona y carga general (a vol.)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,899 €/km.**

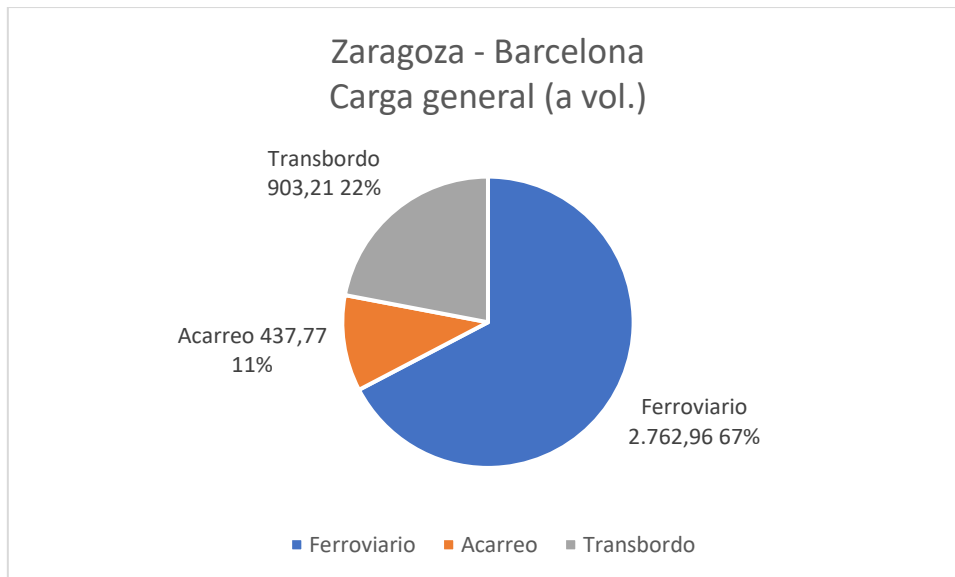


Gráfico 14. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona con carga general (a vol.)

#### 4.2.3. FRIGORÍFICO

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **1,006 €/km.**

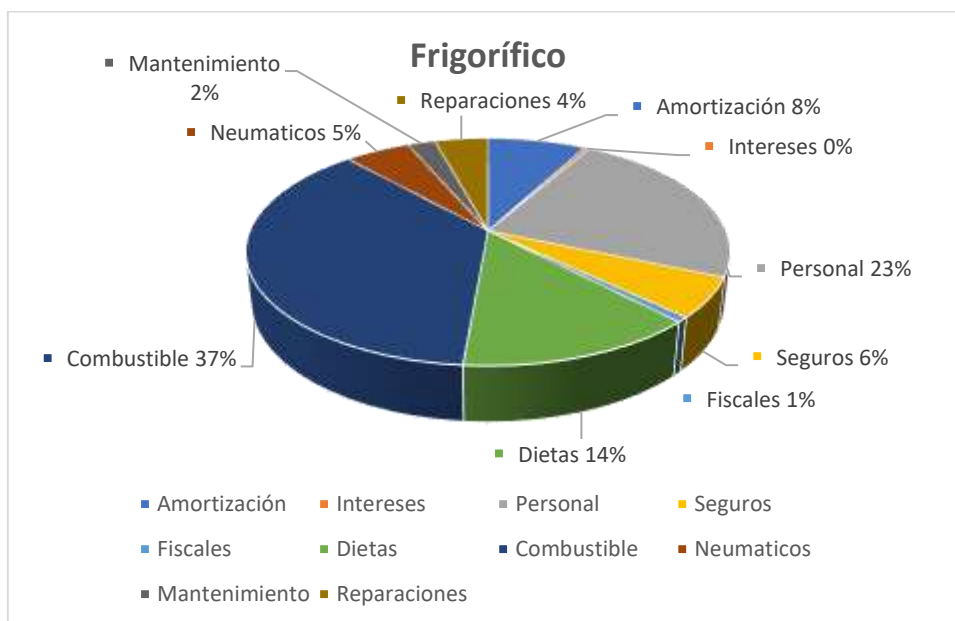


Gráfico 15. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona y carga frigorífica

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,934 €/km.**

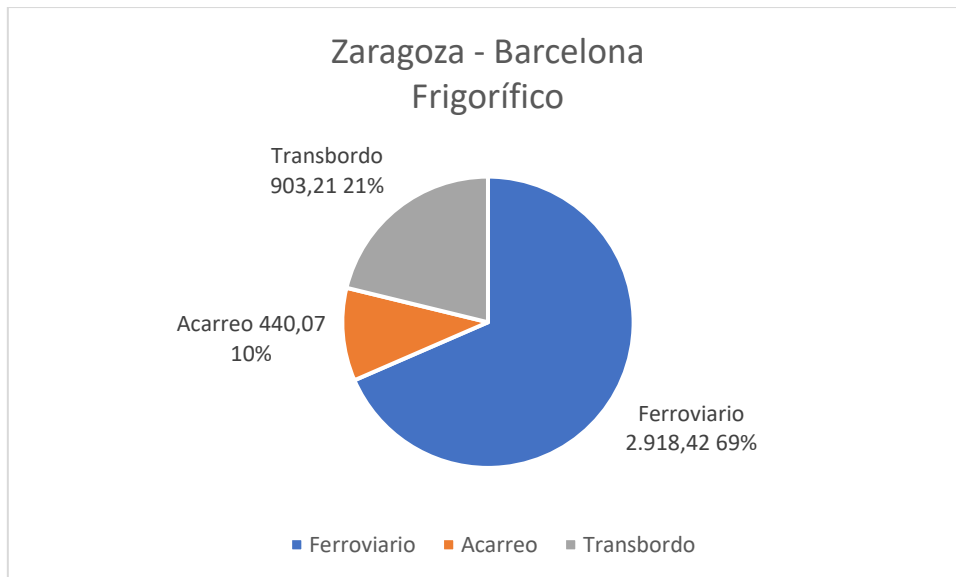


Gráfico 16. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona con carga frigorífica

#### 4.2.4. GRANEL

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,928 €/km**. No obstante, en este caso la vuelta siempre es en vacío, por lo que circula solo el 50% de los kilómetros en carga. Entonces, el coste por kilómetro recorrido en carga es **1,855 €/km**.

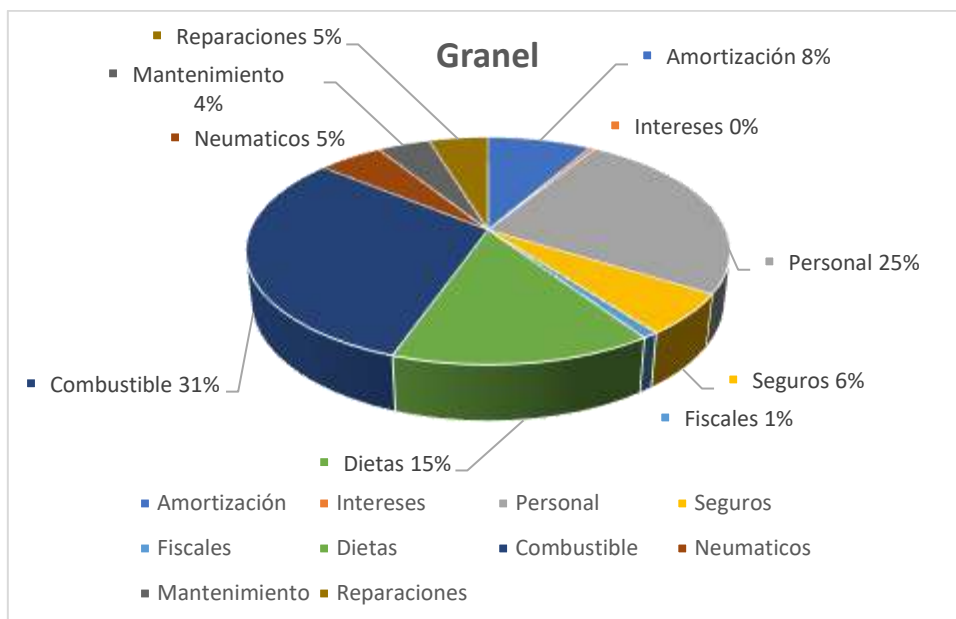


Gráfico 17. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona y carga a granel

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,905 €/km**.

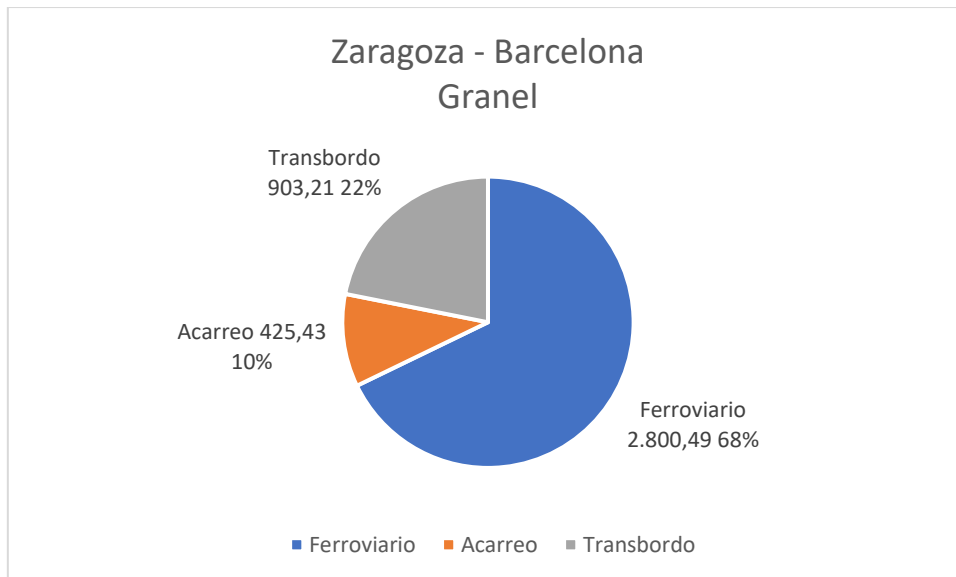


Gráfico 18. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona con carga a granel

#### 4.2.5. PORTAVEHÍCULOS

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,889 €/km**. Al igual que para la carga a granel, en este caso la vuelta también siempre es en vacío. Así pues, el coste por kilómetro recorrido en carga es 1,778 €/km.

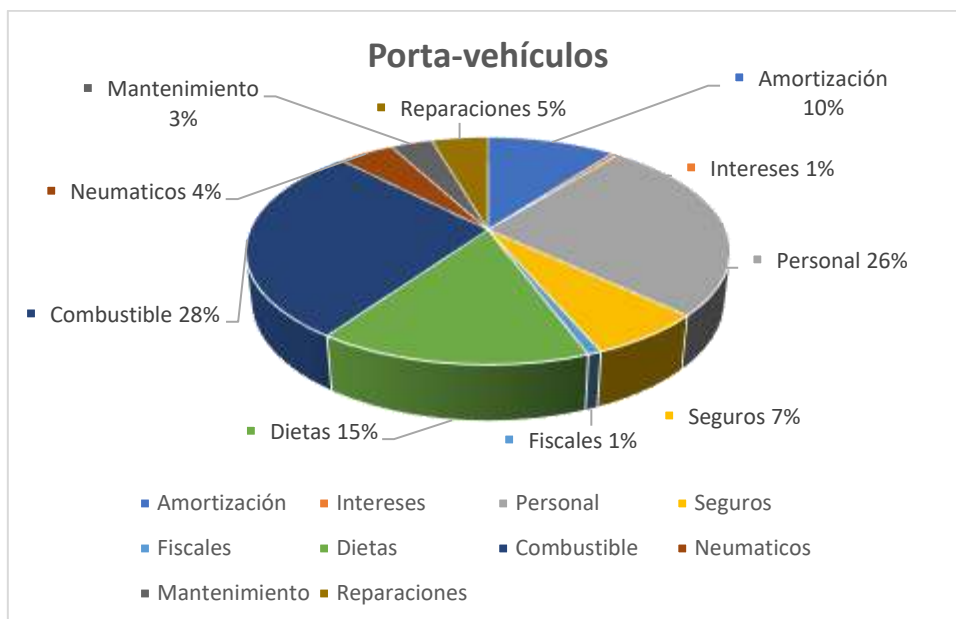


Gráfico 19. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona y carga porta-vehículos

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,884 €/km**.

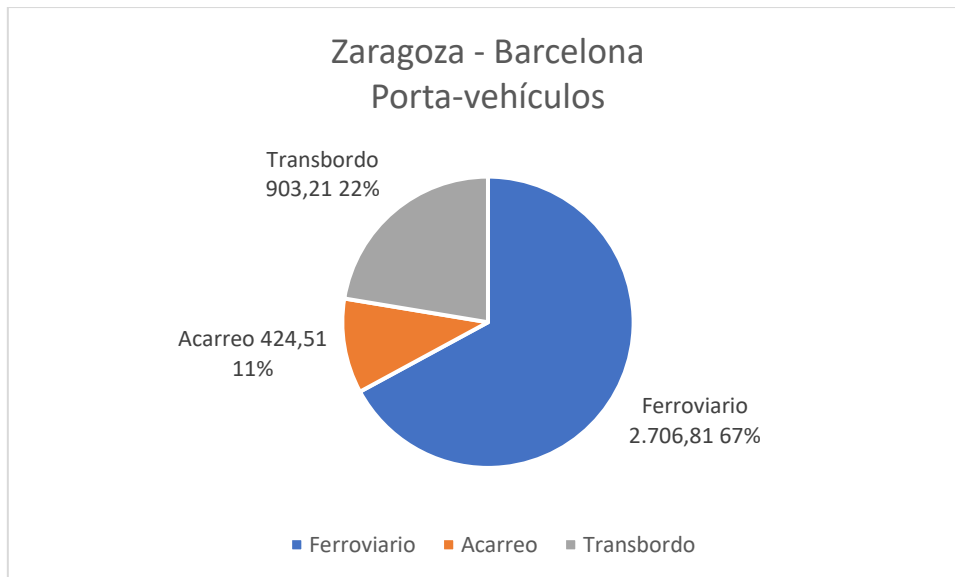


Gráfico 20. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Barcelona con carga porta-vehículos

### 4.3. ZARAGOZA – VALENCIA

#### 4.3.1. CARGA GENERAL (A PESO)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,947 €/km**.

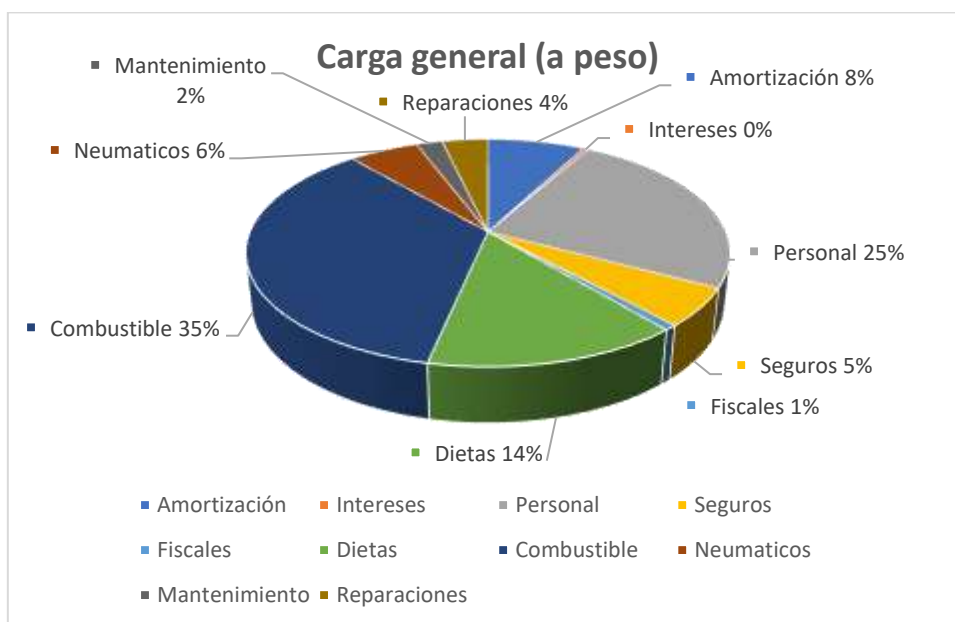


Gráfico 21. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia y carga general (a peso)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **1,104 €/km**.

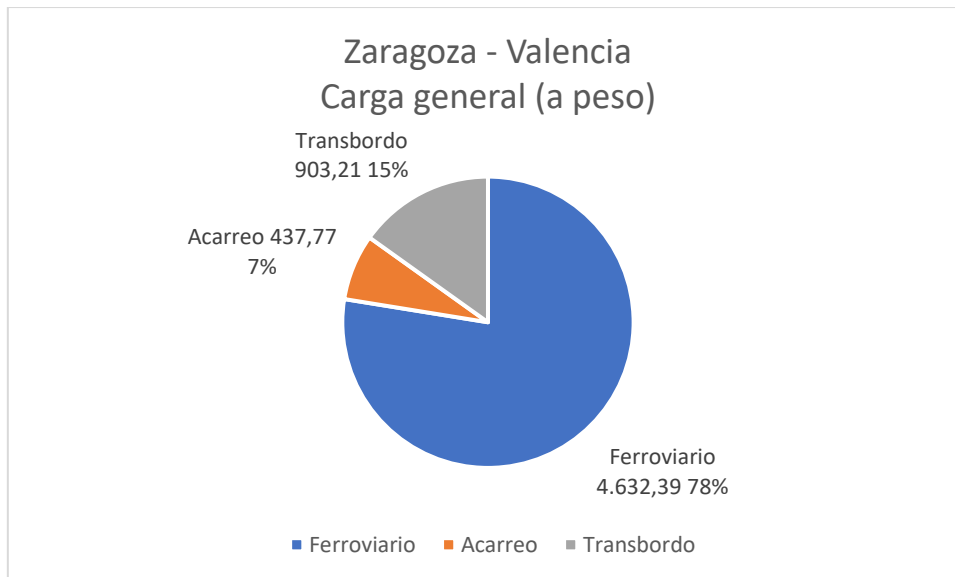


Gráfico 22. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia con carga general (a peso)

#### 4.3.2. CARGA GENERAL (A VOLUMEN)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,901 €/km**.

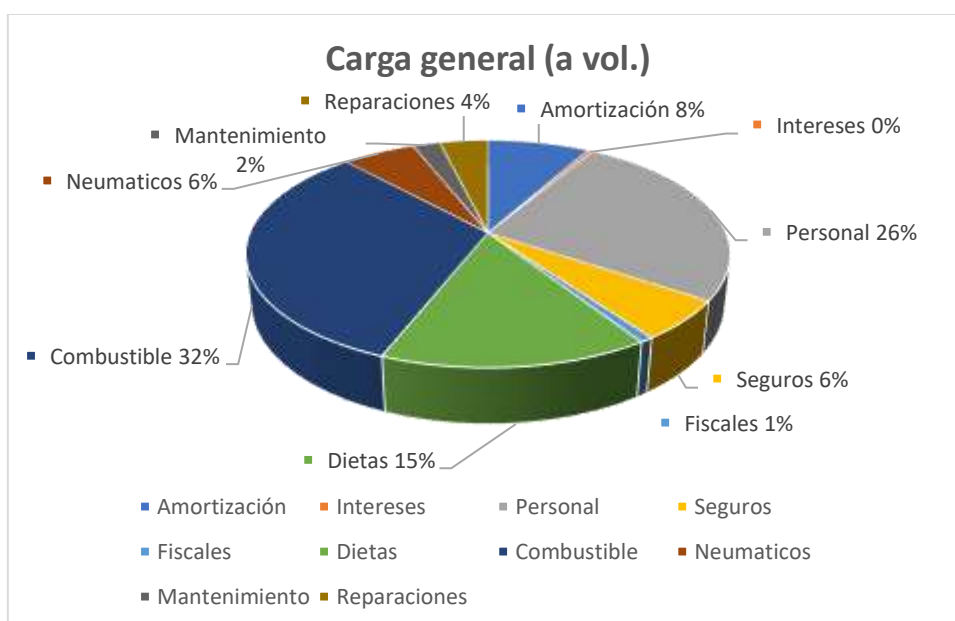


Gráfico 23. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia y carga general (a vol.)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **1,103 €/km**.

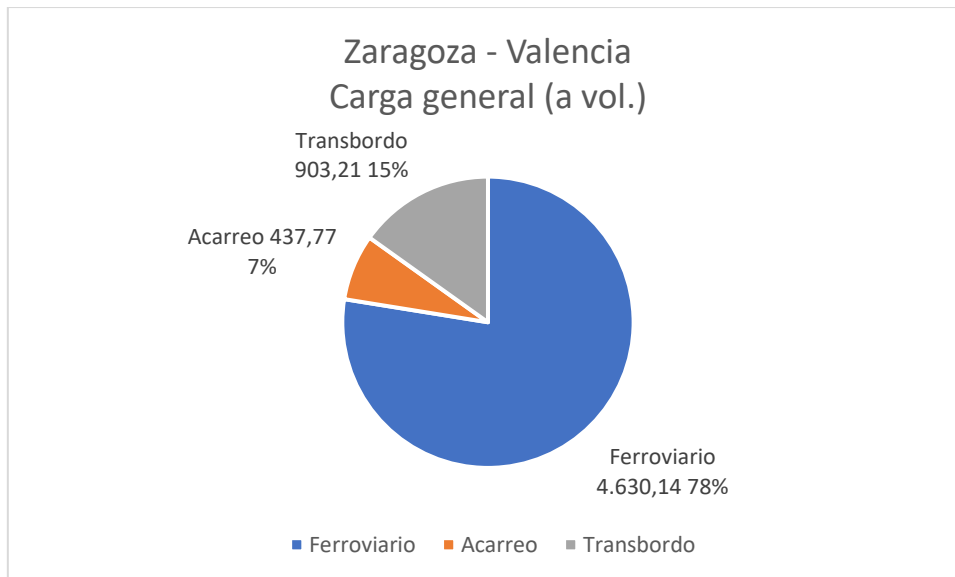


Gráfico 24. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia con carga general (a vol.)

### 4.3.3. FRIGORÍFICO

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **1,011 €/km.**

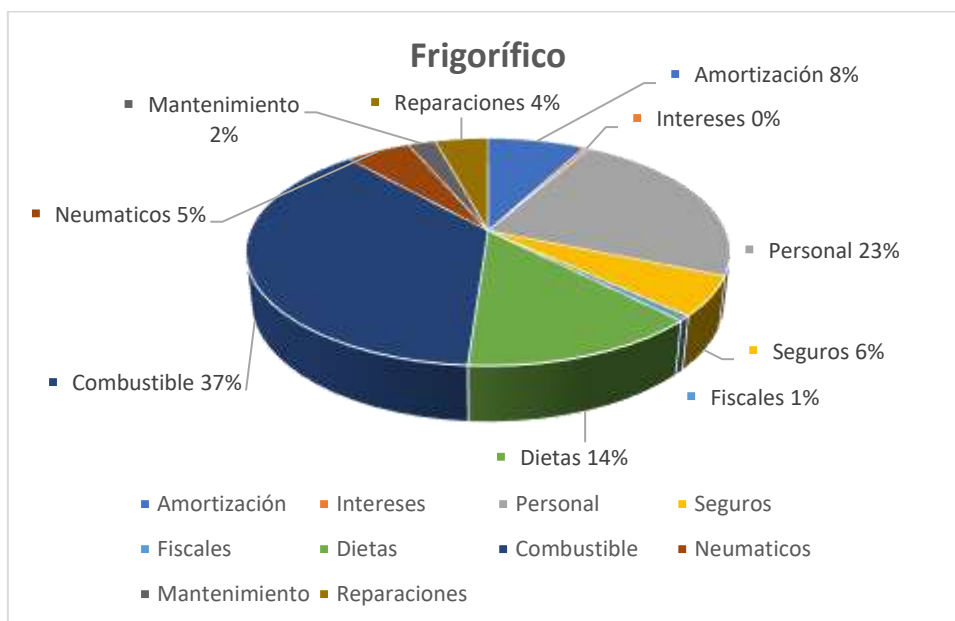


Gráfico 25. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia y carga frigorífica

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **1,104 €/km.**

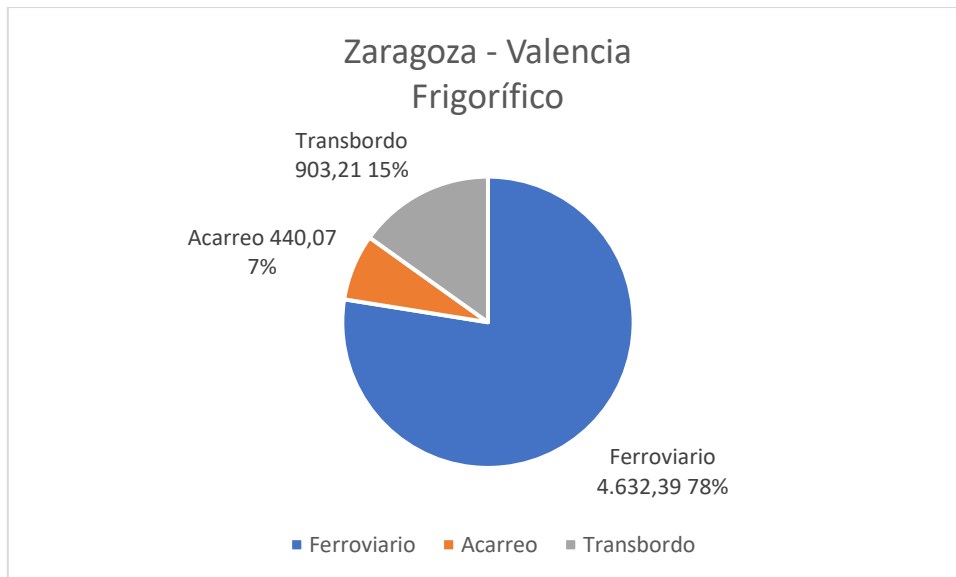


Gráfico 26. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia con carga frigorífica

#### 4.3.4. GRANEL

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,931 €/km**. No obstante, en este caso la vuelta siempre es en vacío, por lo que circula solo el 50% de los kilómetros en carga. Entonces, el coste por kilómetro recorrido en carga es **1,861 €/km**.

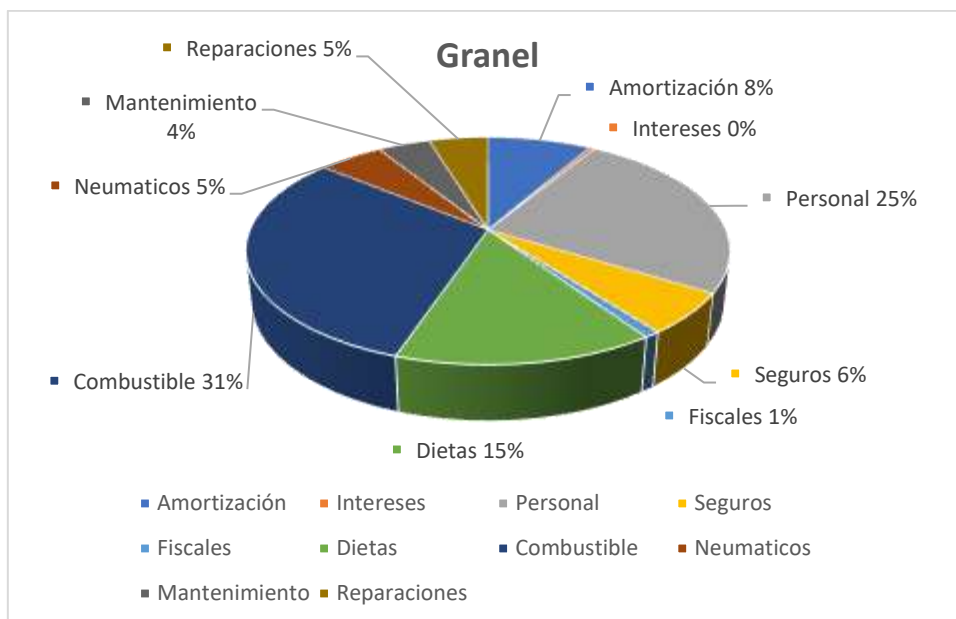


Gráfico 27. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia y carga a granel

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **1,798 €/km**.

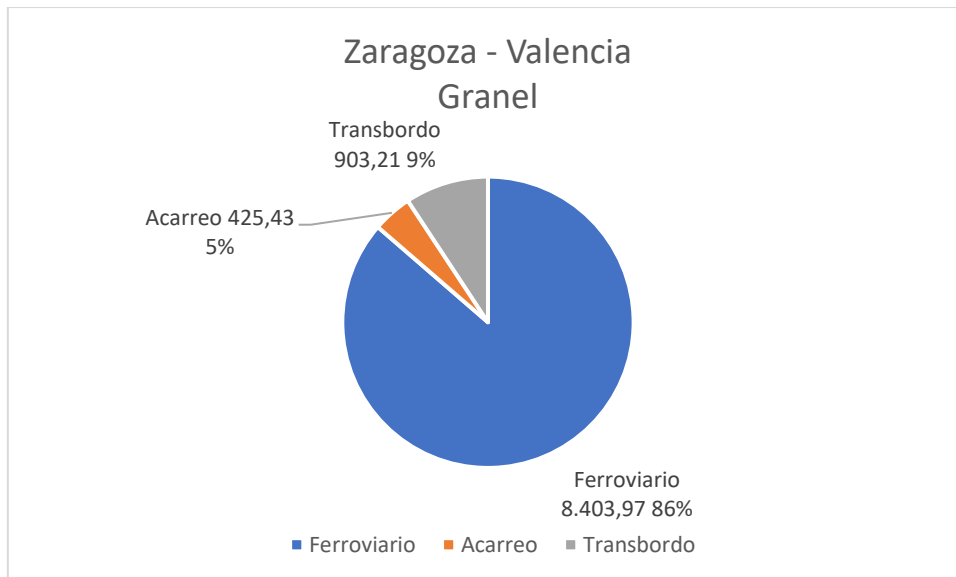


Gráfico 28. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia con carga a granel

#### 4.3.5. PORTAVEHÍCULOS

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,892 €/km**. Al igual que para la carga a granel, en este caso la vuelta también siempre es en vacío. Así pues, el coste por kilómetro recorrido en carga es 1,784 €/km.

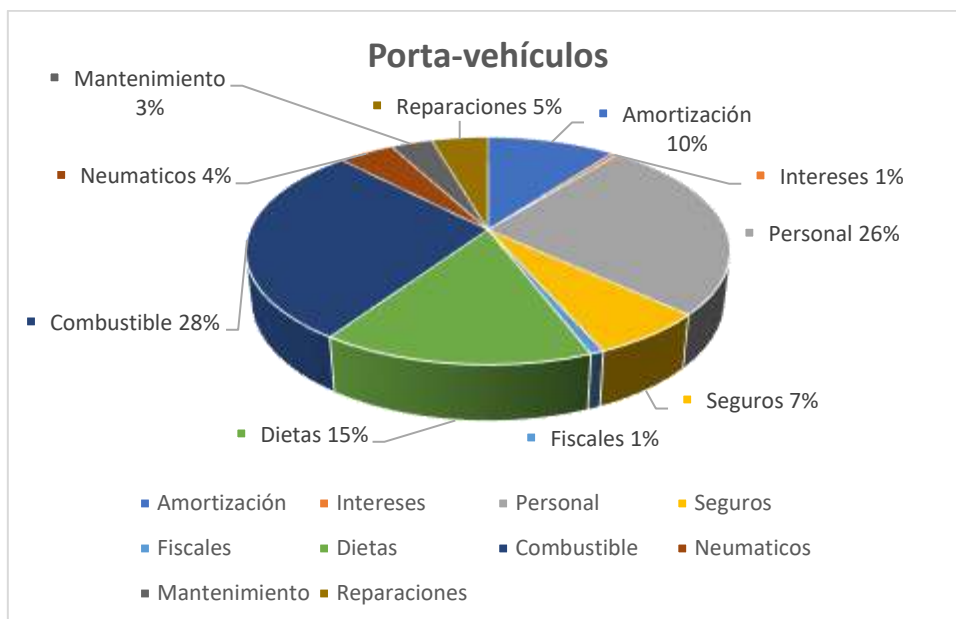


Gráfico 29. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia y carga porta-vehículos

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **1,216 €/km**.

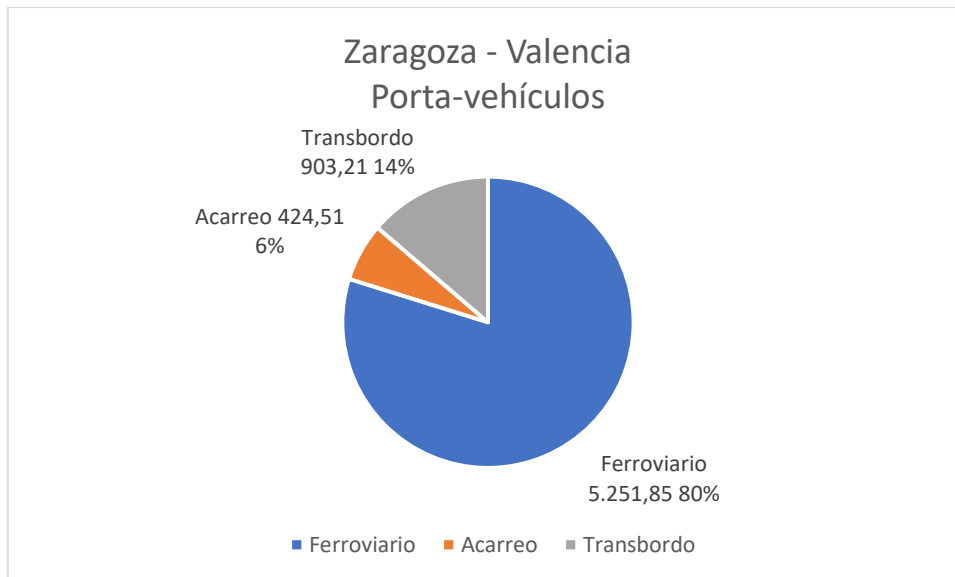


Gráfico 30. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Valencia con carga porta-vehículos

#### 4.4. ZARAGOZA – ALGECIRAS

##### 4.4.1. CARGA GENERAL (A PESO)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,938 €/km**.

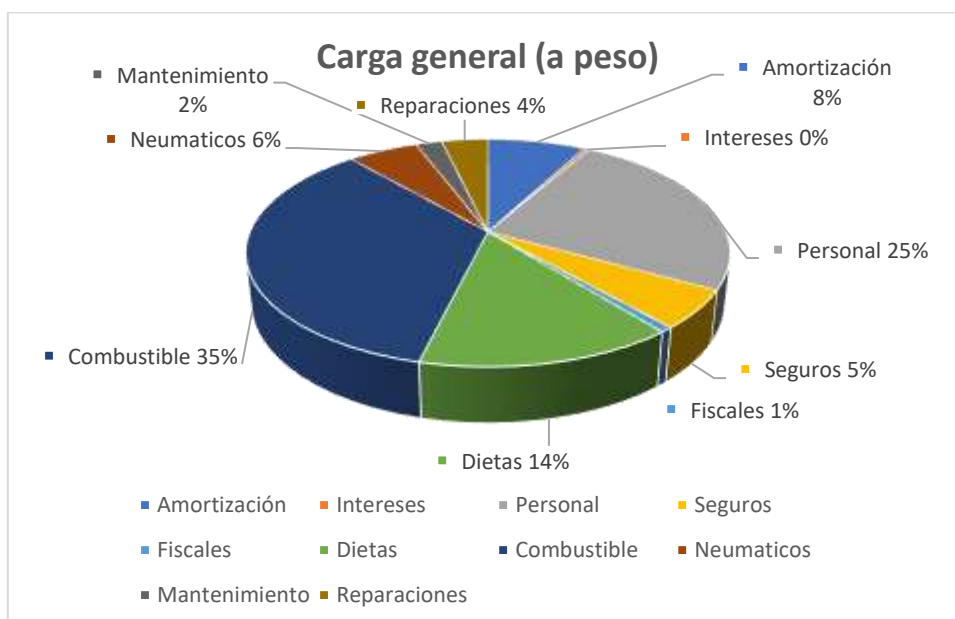


Gráfico 31. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras y carga general (a peso)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,733 €/km**.

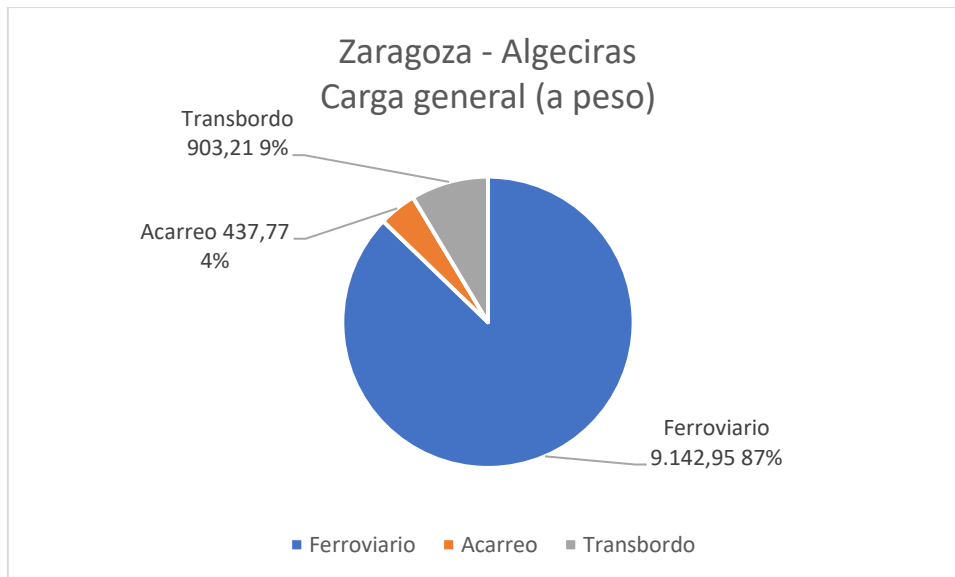


Gráfico 32. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras con carga general (a peso)

#### 4.4.2. CARGA GENERAL (A VOLUMEN)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,895 €/km.**

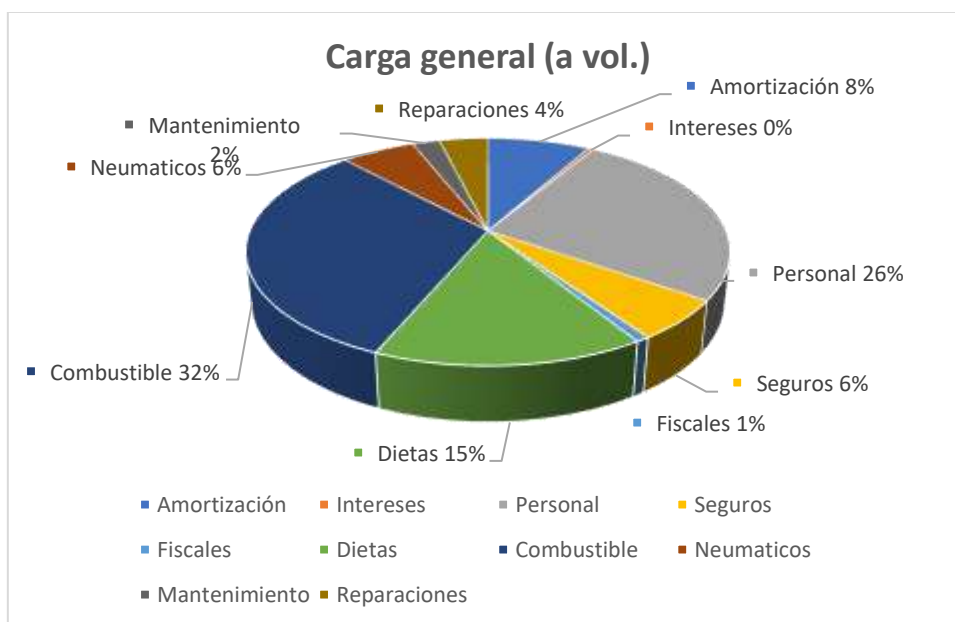


Gráfico 33. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras y carga general (a vol.)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,699 €/km.**

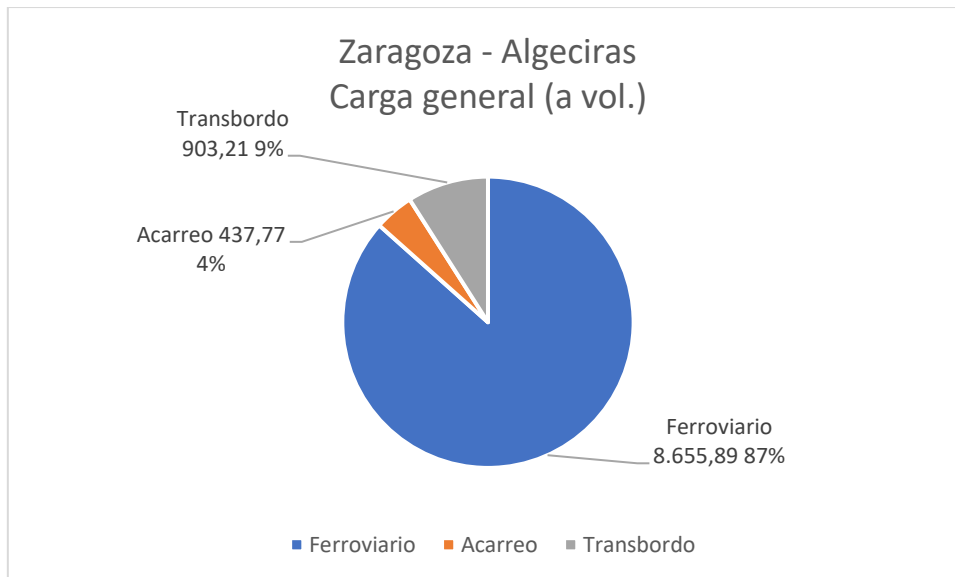


Gráfico 34. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras con carga general (a vol.)

#### 4.4.3. FRIGORÍFICO

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **1,003 €/km**.

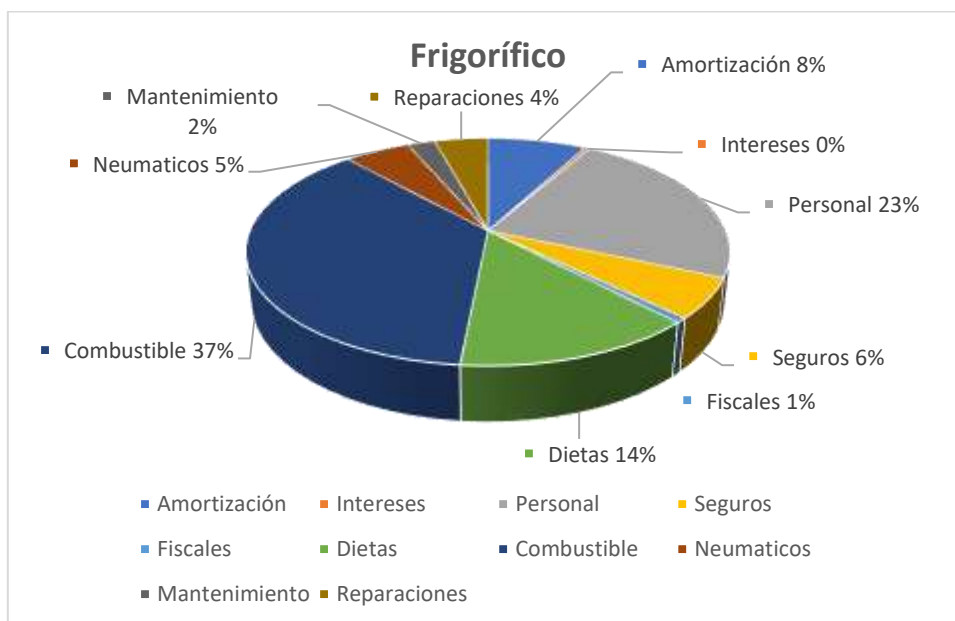


Gráfico 35. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras y carga frigorífica

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,733 €/km**.

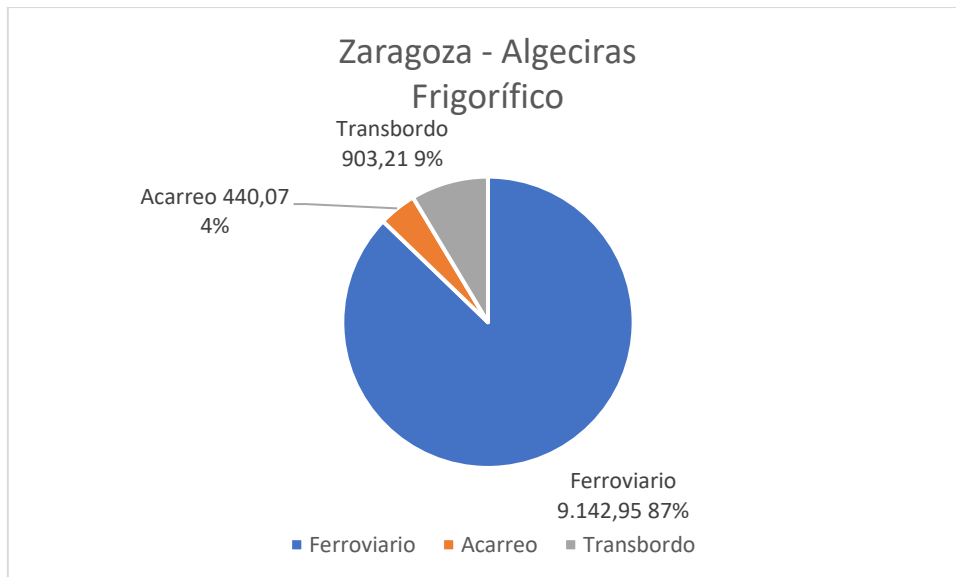


Gráfico 36. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras con carga frigorífica

#### 4.4.4. GRANEL

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,926 €/km**. No obstante, en este caso la vuelta siempre es en vacío, por lo que circula solo el 50% de los kilómetros en carga. Entonces, el coste por kilómetro recorrido en carga es **1,853 €/km**.

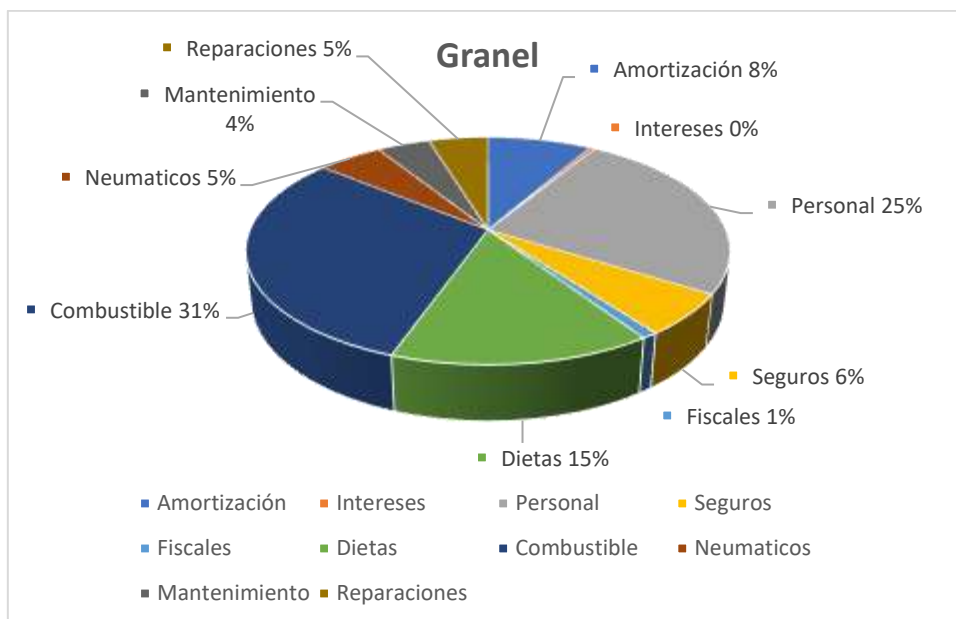


Gráfico 37. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras y carga a granel

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,706 €/km**.

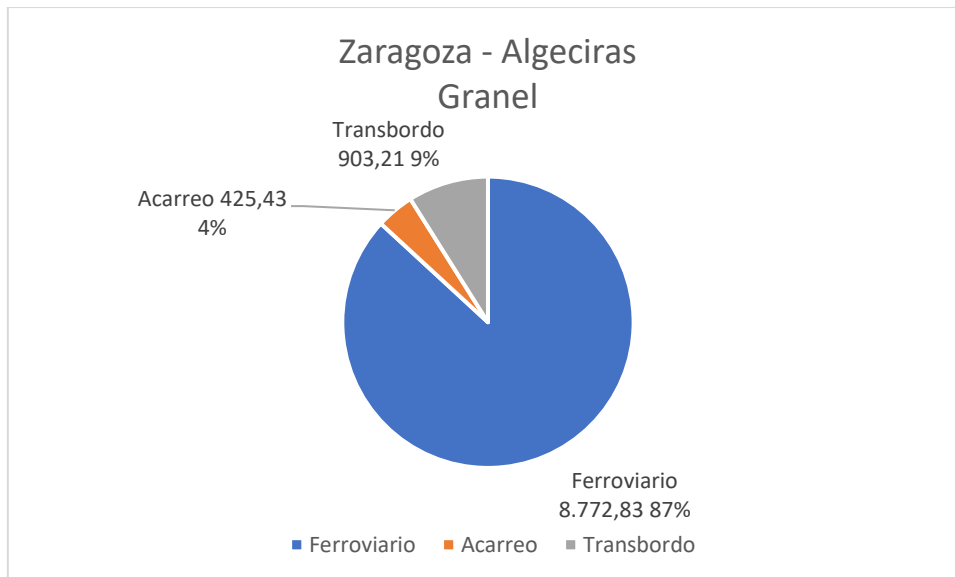


Gráfico 38. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras con carga a granel

#### 4.4.5. PORTAVEHÍCULOS

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,888 €/km**. Al igual que para la carga a granel, en este caso la vuelta también siempre es en vacío. Así pues, el coste por kilómetro recorrido en carga es 1,776 €/km.

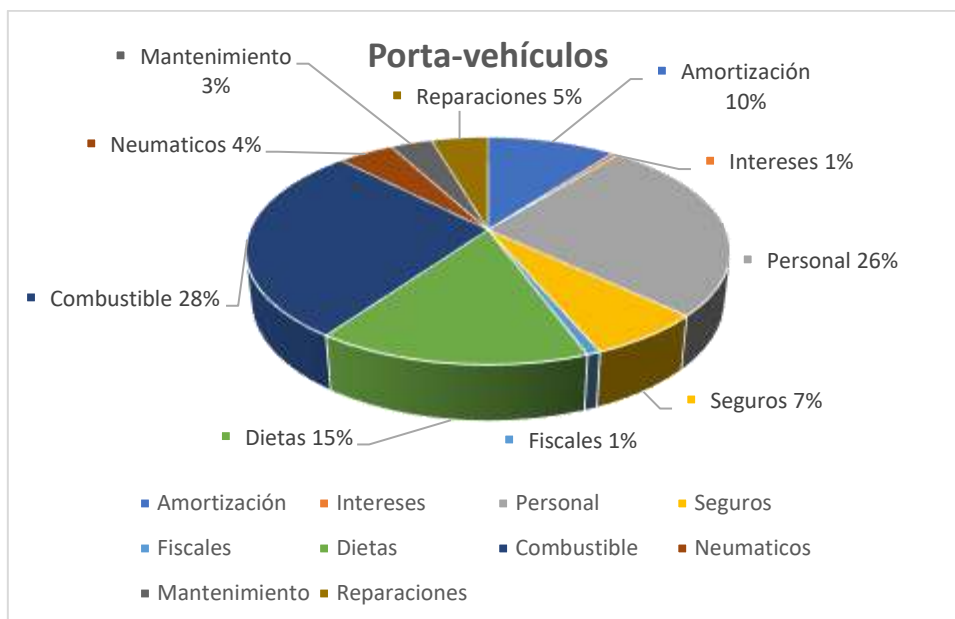


Gráfico 39. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras y carga porta-vehículos

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,686 €/km**.

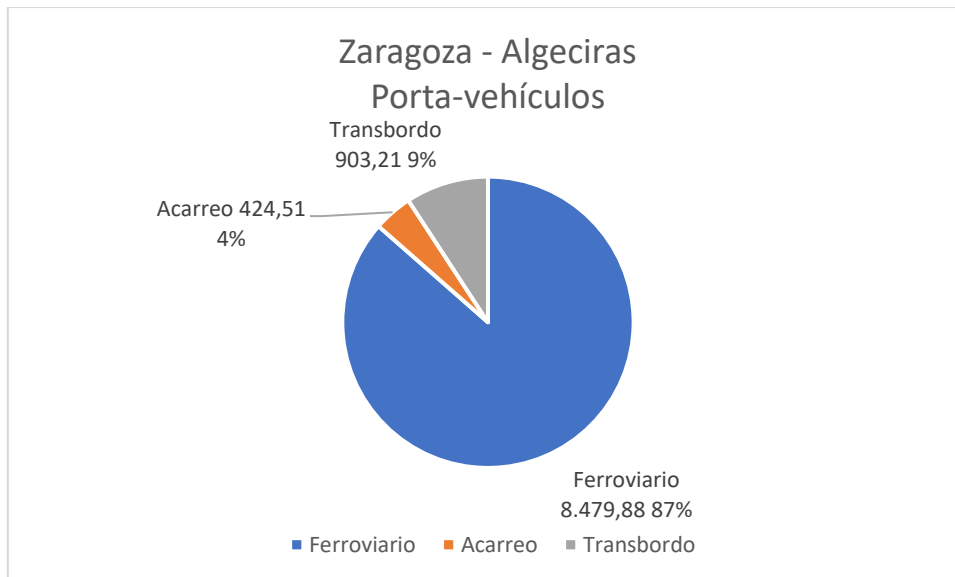


Gráfico 40. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Algeciras con carga porta-vehículos

#### 4.5. ZARAGOZA – VIGO

##### 4.5.1. CARGA GENERAL (A PESO)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,952 €/km**.

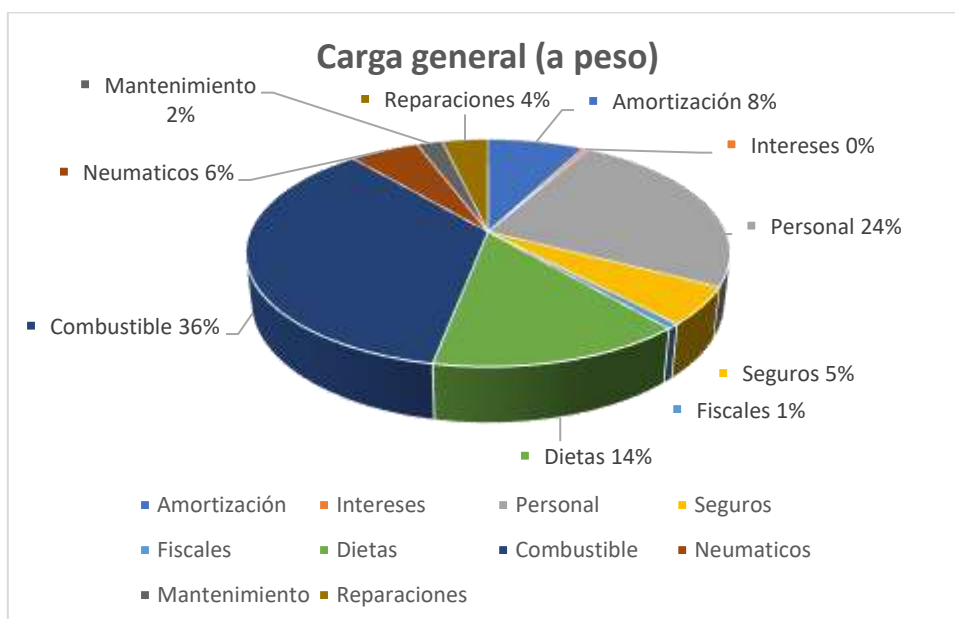


Gráfico 41. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo y carga general (a peso)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,729 €/km**.

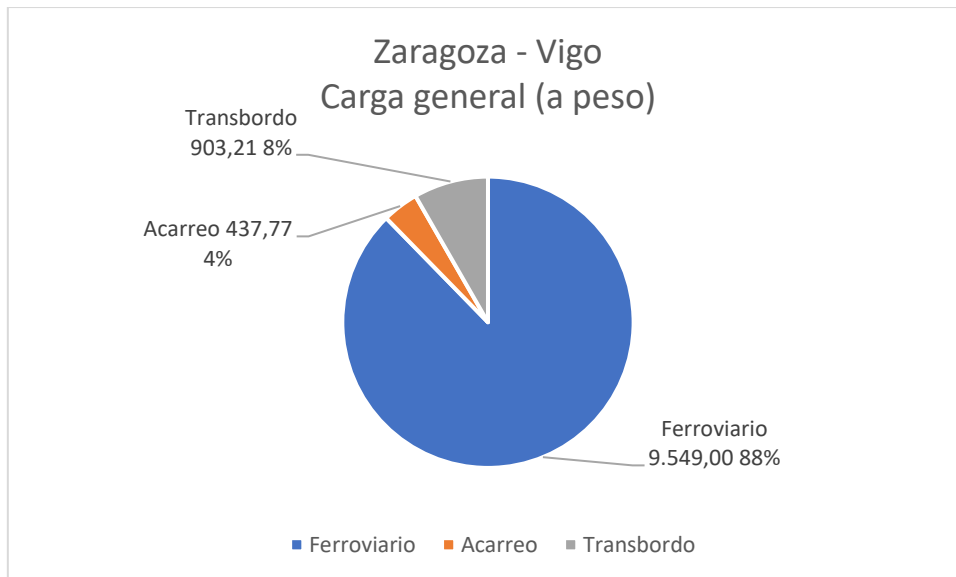


Gráfico 42. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo con carga general (a peso)

#### 4.5.2. CARGA GENERAL (A VOLUMEN)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,906 €/km.**

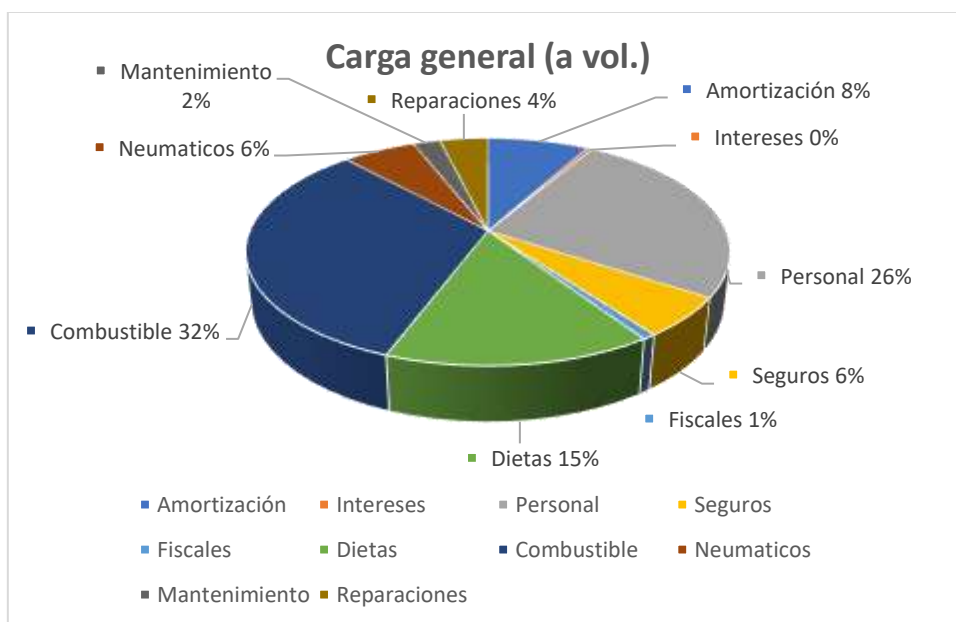


Gráfico 43. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo y carga general (a vol.)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,695 €/km.**

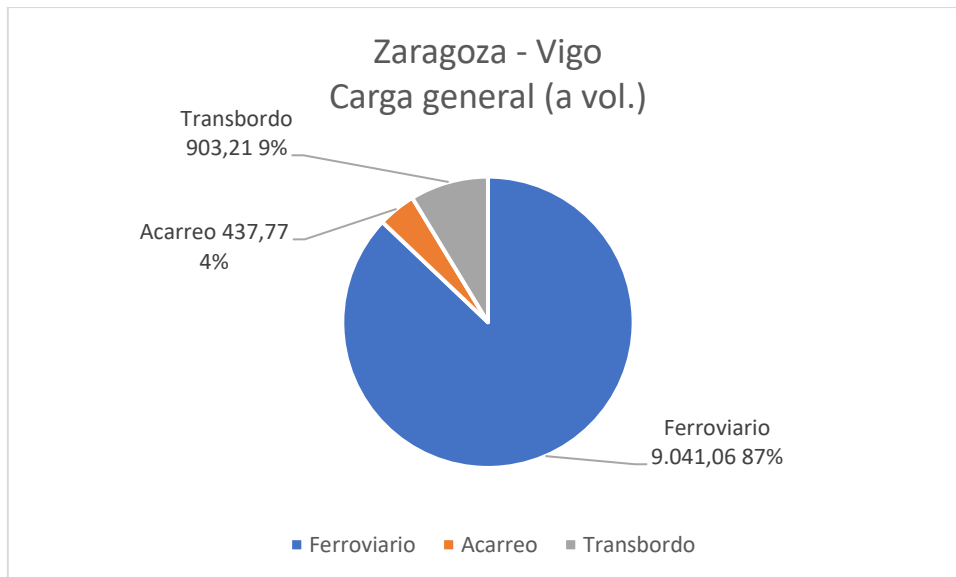


Gráfico 44. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo con carga general (a vol.)

### 4.5.3. FRIGORÍFICO

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **1,017 €/km**.

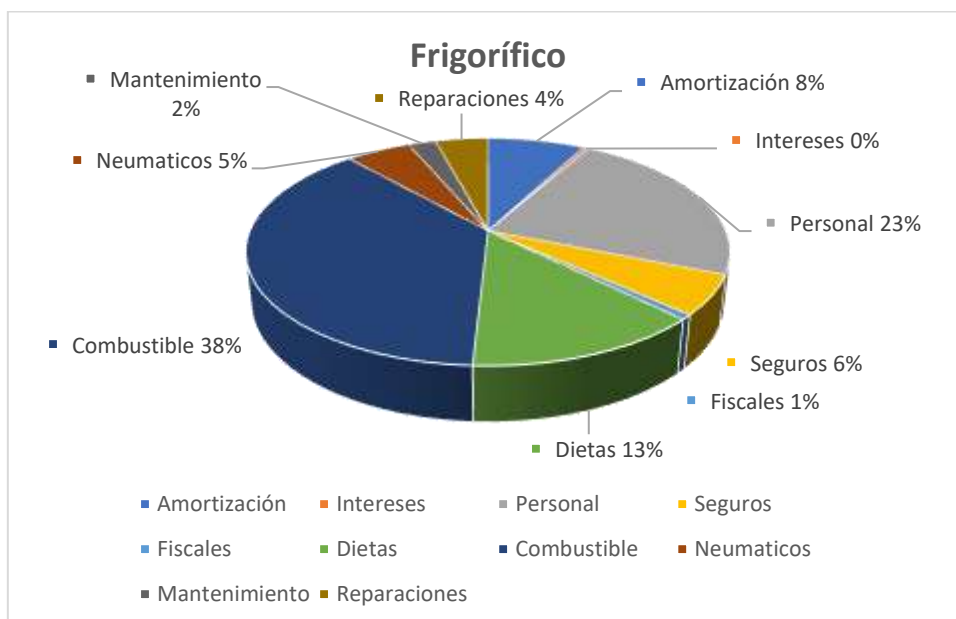


Gráfico 45. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo y carga frigorífica

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,729 €/km**.

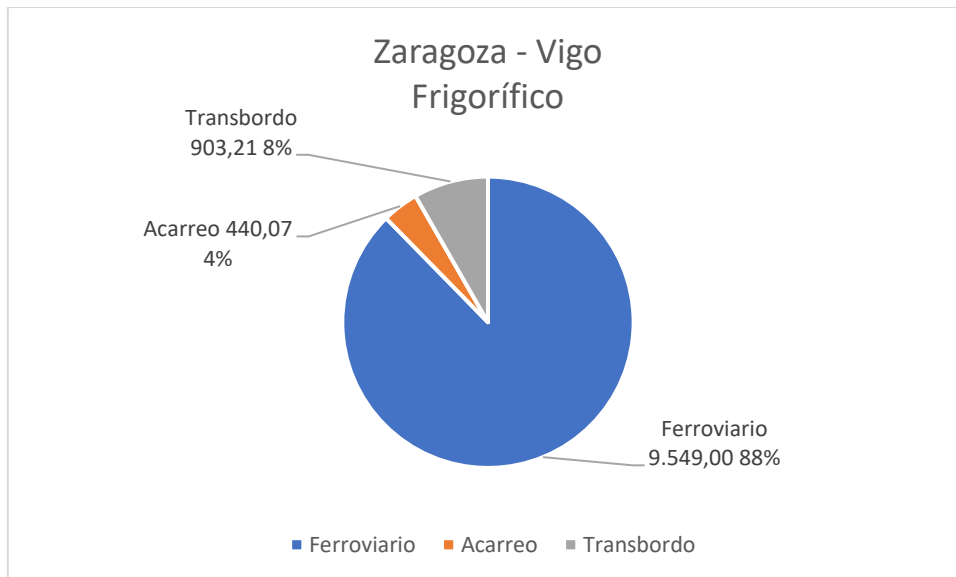


Gráfico 46. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo con carga frigorífica

#### 4.5.4. GRANEL

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,936 €/km**. No obstante, en este caso la vuelta siempre es en vacío, por lo que circula solo el 50% de los kilómetros en carga. Entonces, el coste por kilómetro recorrido en carga es **1,872 €/km**.

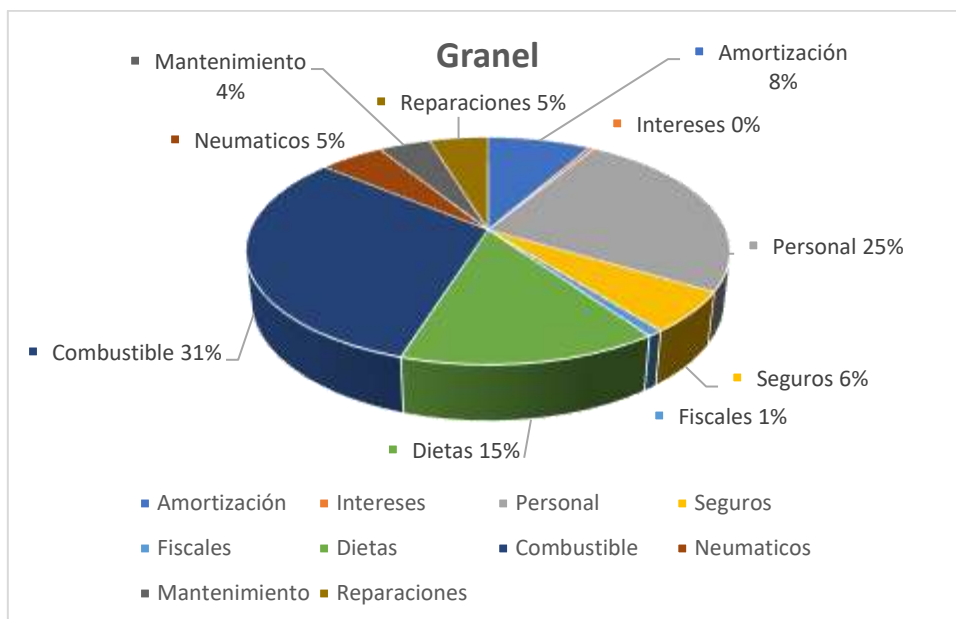


Gráfico 47. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo y carga a granel

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,703 €/km**.

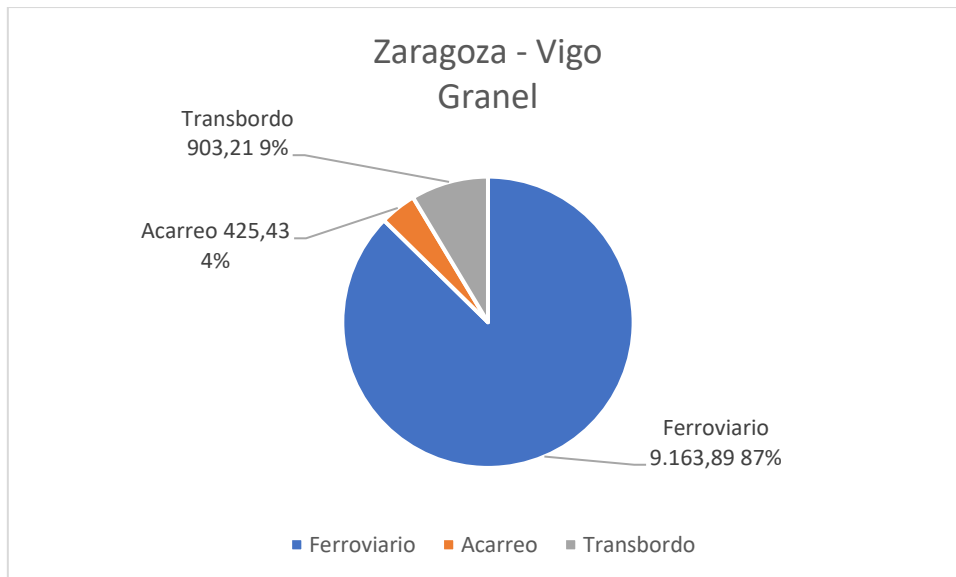


Gráfico 48. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo con carga a granel

#### 4.5.5. PORTAVEHÍCULOS

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,894 €/km**. Al igual que para la carga a granel, en este caso la vuelta también siempre es en vacío. Así pues, el coste por kilómetro recorrido en carga es 1,788 €/km.

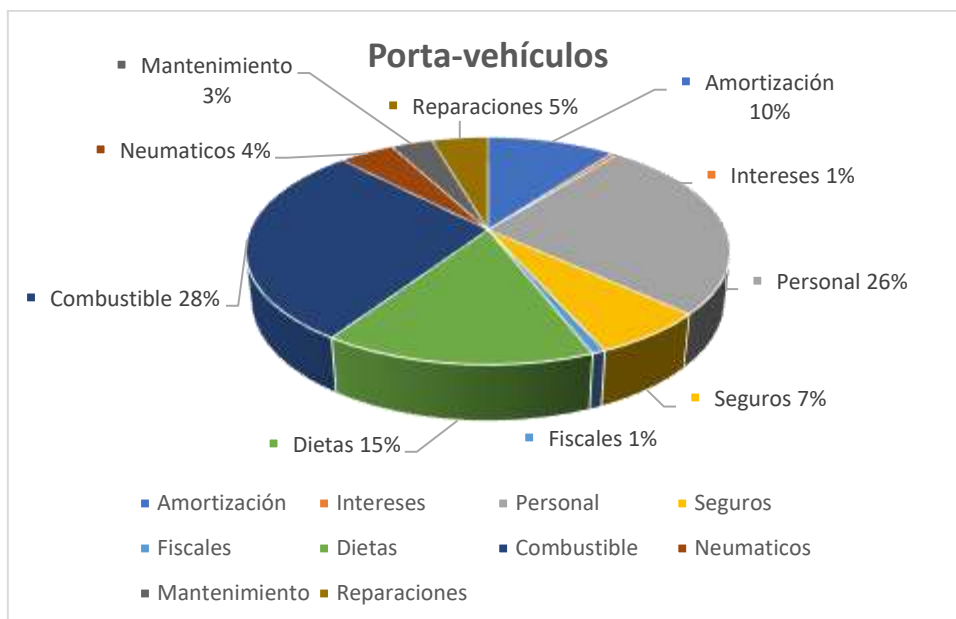


Gráfico 49. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo y carga porta-vehículos

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,682 €/km**.

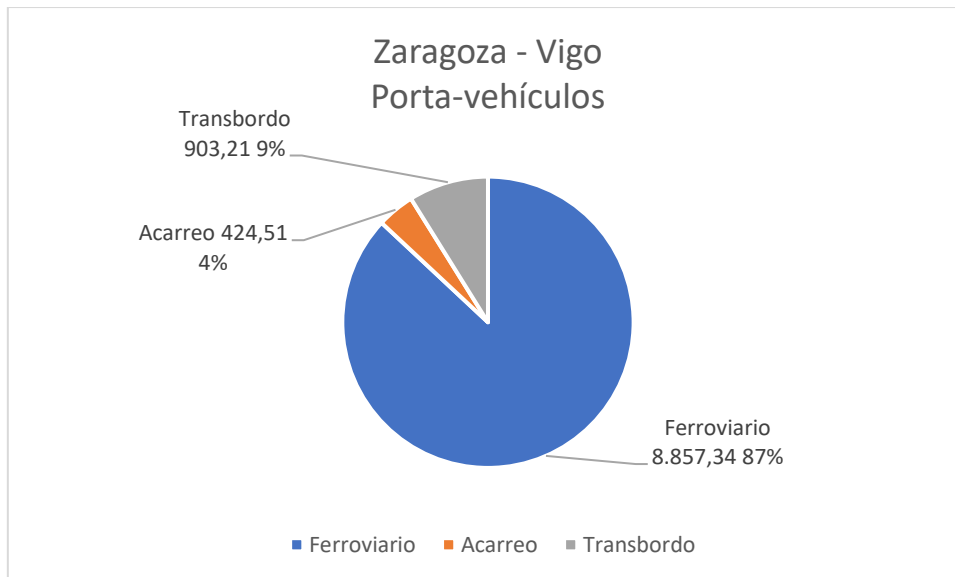


Gráfico 50. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Vigo con carga porta-vehículos

#### 4.6. ZARAGOZA – MADRID – LISBOA

##### 4.6.1. CARGA GENERAL (A PESO)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,932 €/km**.

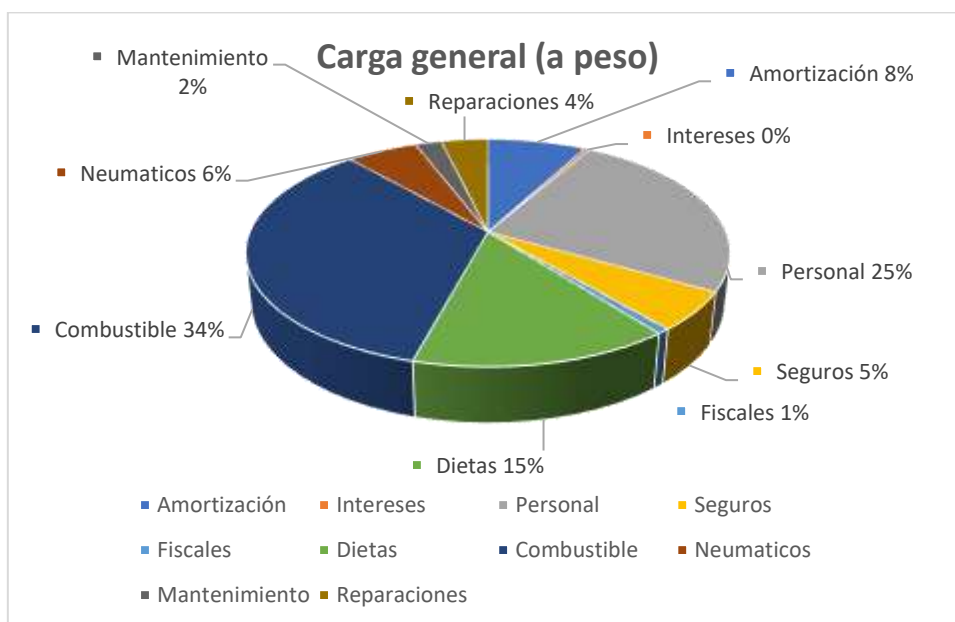


Gráfico 51. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa y carga general (a peso)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,718 €/km**.

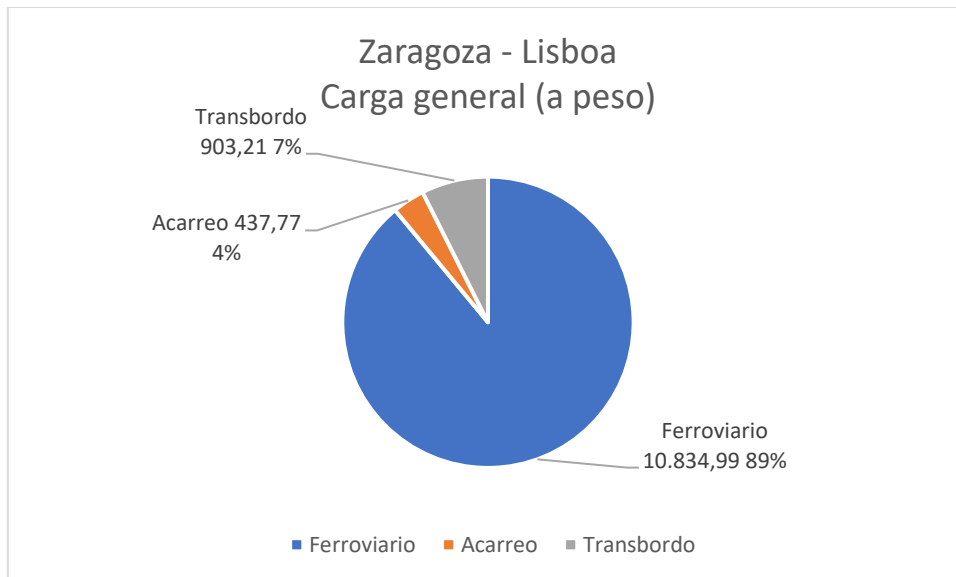


Gráfico 52. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa con carga general (a peso)

#### 4.6.2. CARGA GENERAL (A VOLUMEN)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,889 €/km**.

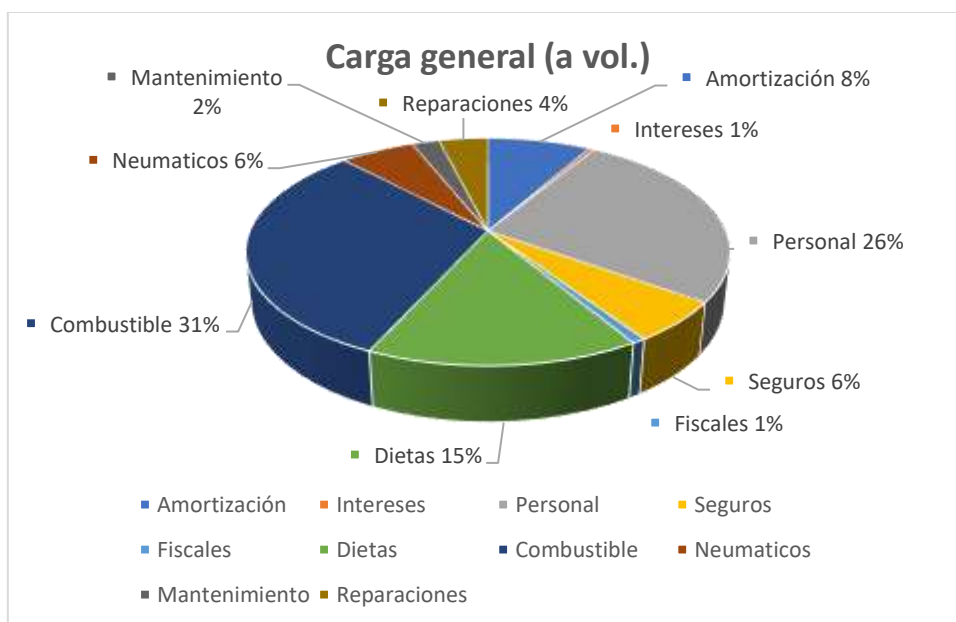


Gráfico 53. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa y carga general (a vol.)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,684 €/km**.

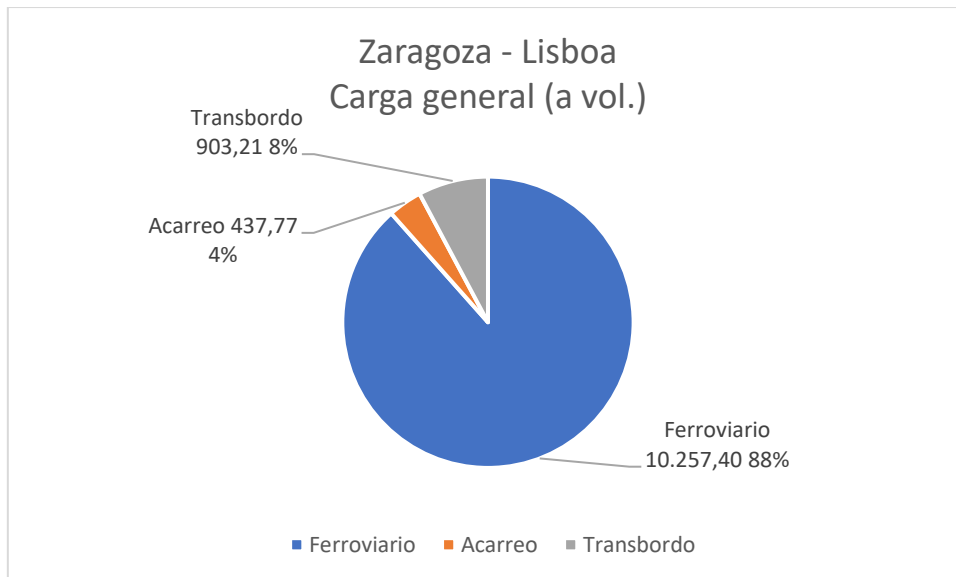


Gráfico 54. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa con carga general (a vol.)

### 4.6.3. FRIGORÍFICO

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,997 €/km**.

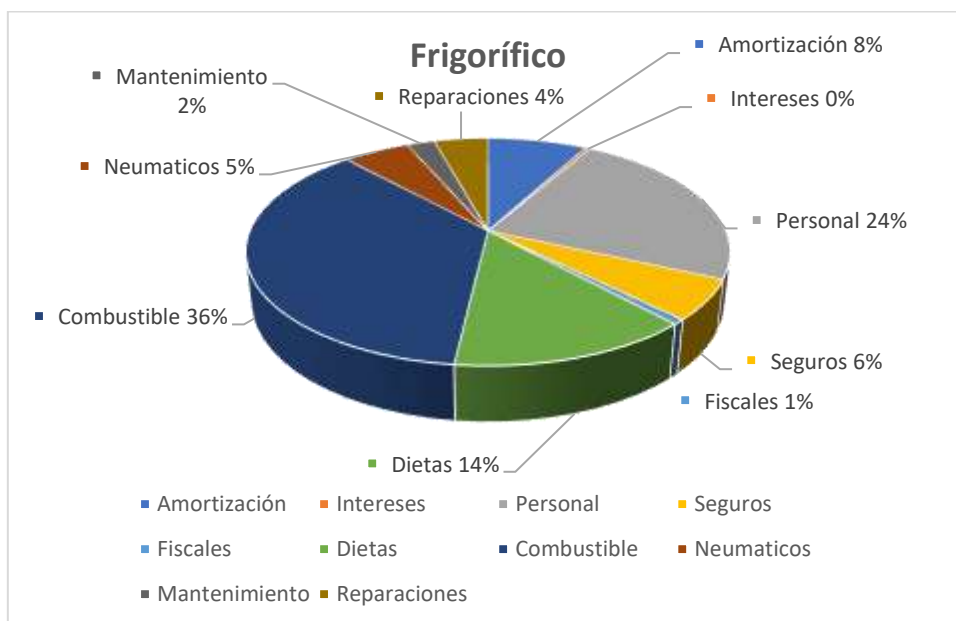


Gráfico 55. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa y carga frigorífica

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,718 €/km**.

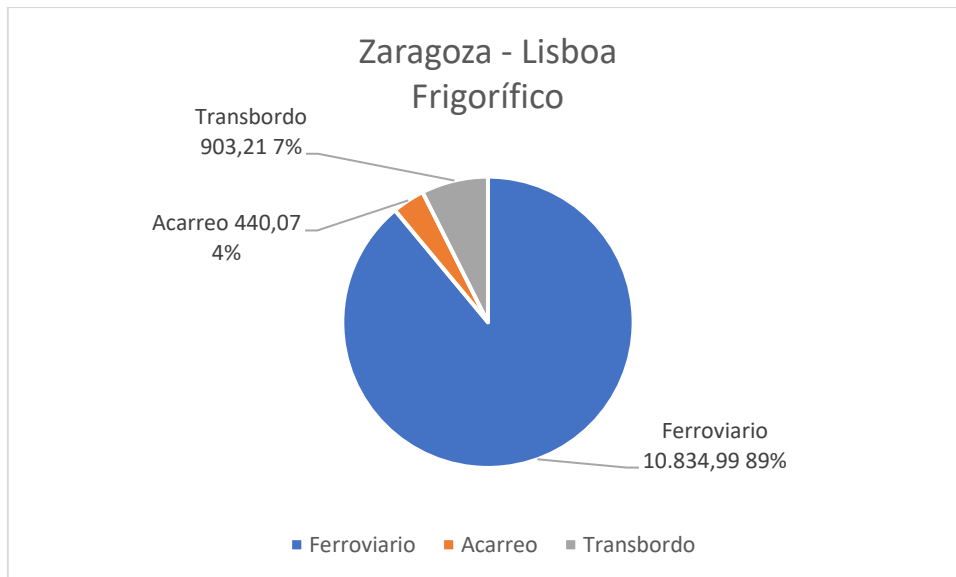


Gráfico 56. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa con carga frigorífica

#### 4.6.4. GRANEL

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,919 €/km**. No obstante, en este caso la vuelta siempre es en vacío, por lo que circula solo el 50% de los kilómetros en carga. Entonces, el coste por kilómetro recorrido en carga es **1,838 €/km**.

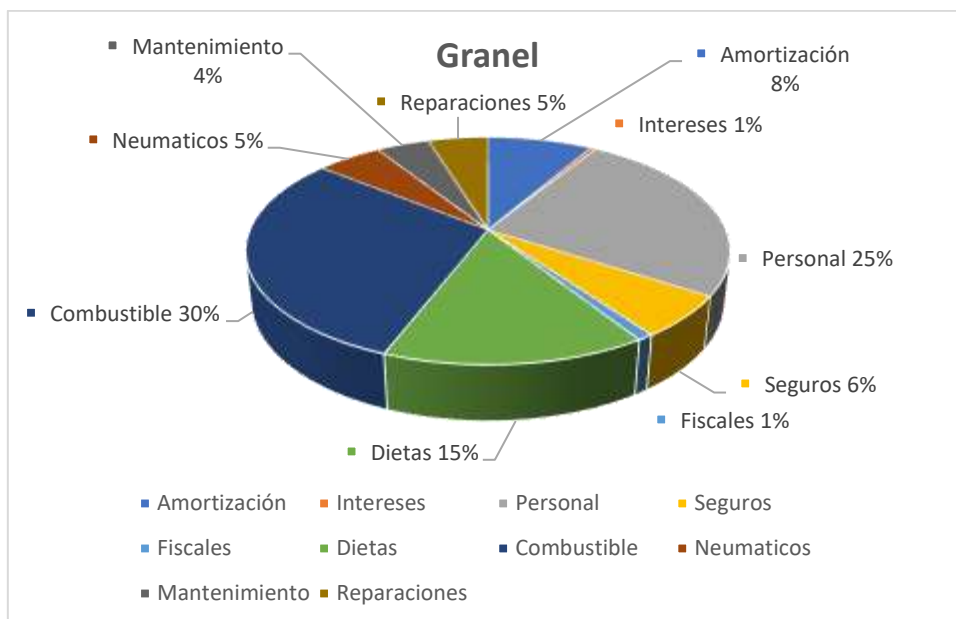


Gráfico 57. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa y carga a granel

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,691 €/km**.

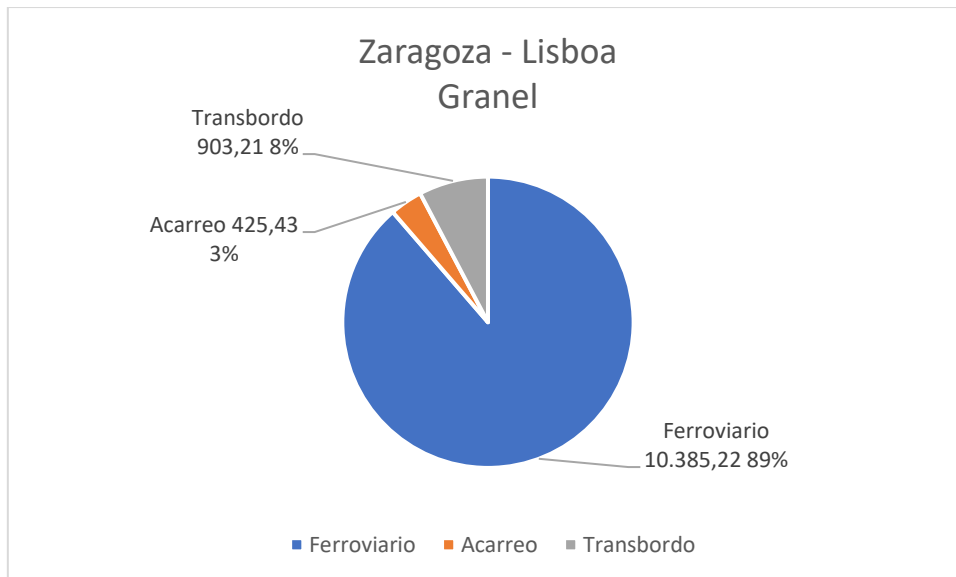


Gráfico 58. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa con carga a granel

#### 4.6.5. PORTAVEHÍCULOS

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,882 €/km**. Al igual que para la carga a granel, en este caso la vuelta también siempre es en vacío. Así pues, el coste por kilómetro recorrido en carga es 1,763 €/km.

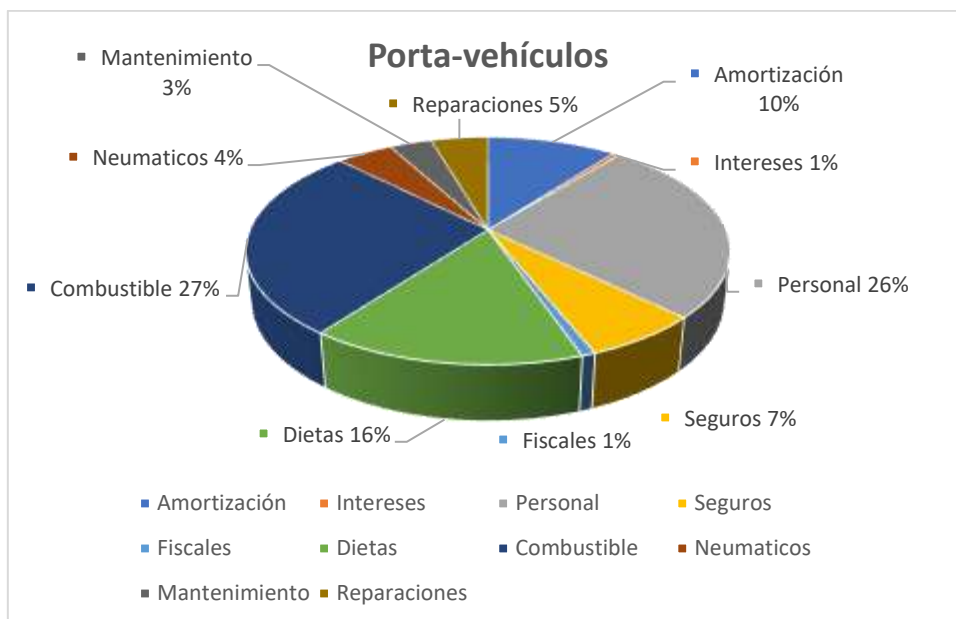


Gráfico 59. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa y carga porta-vehículos

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,671 €/km**.

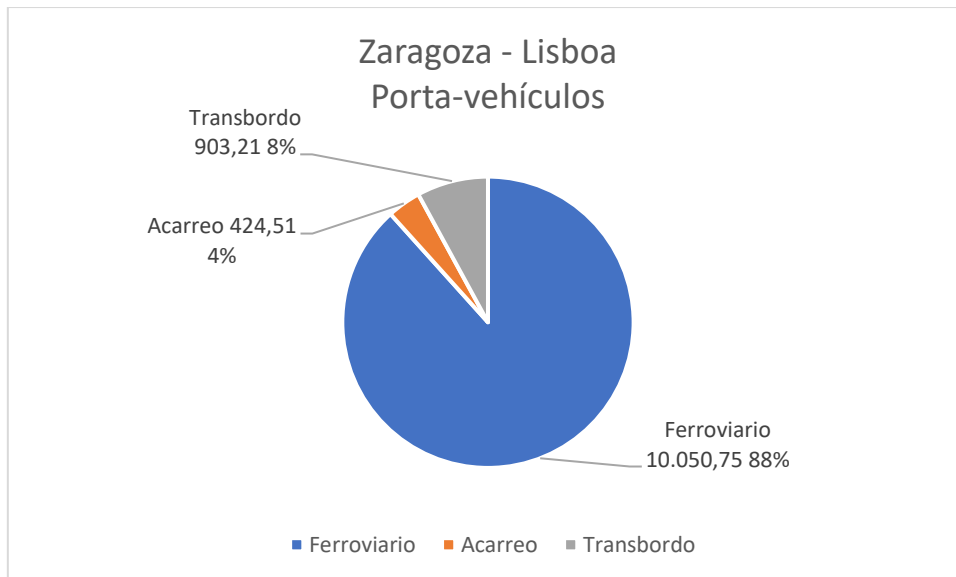


Gráfico 60. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Lisboa con carga porta-vehículos

#### 4.7. ZARAGOZA – IRUN – BURDEOS – PARIS

##### 4.7.1. CARGA GENERAL (A PESO)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,898 €/km**.

La distribución porcentual del coste total según el tipo o componente de coste es de la siguiente manera:

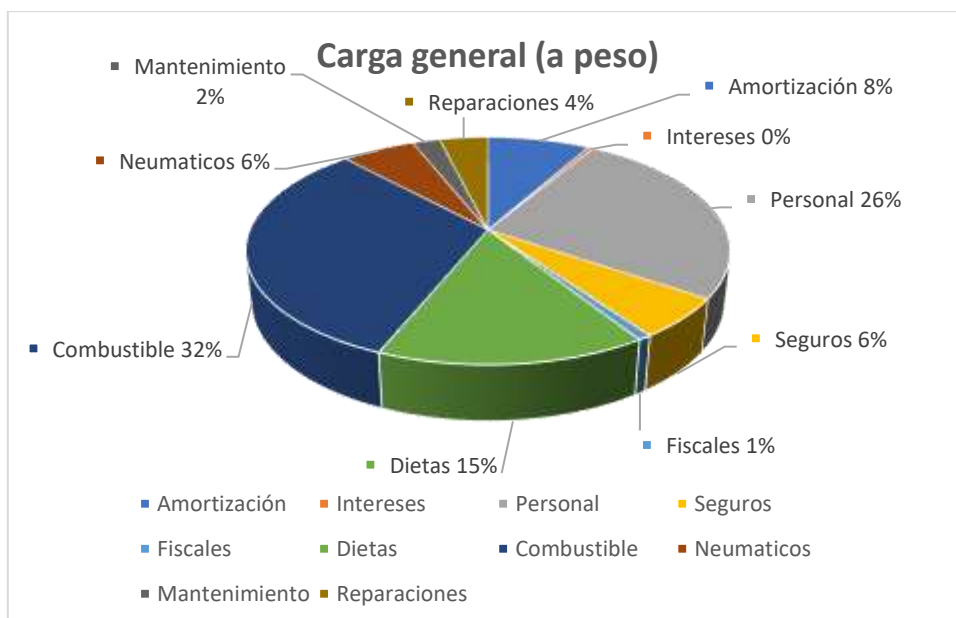


Gráfico 61. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris y carga general (a peso)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,712 €/km**.

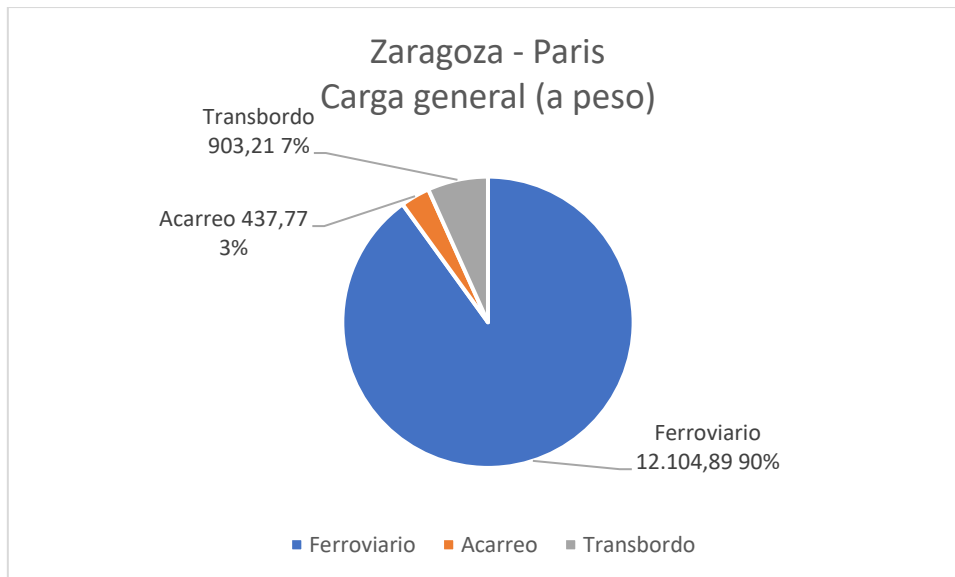


Gráfico 62. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris con carga general (a peso)

#### 4.7.2. CARGA GENERAL (A VOLUMEN)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,864 €/km**.

La distribución porcentual del coste total según el tipo o componente de coste es de la siguiente manera:

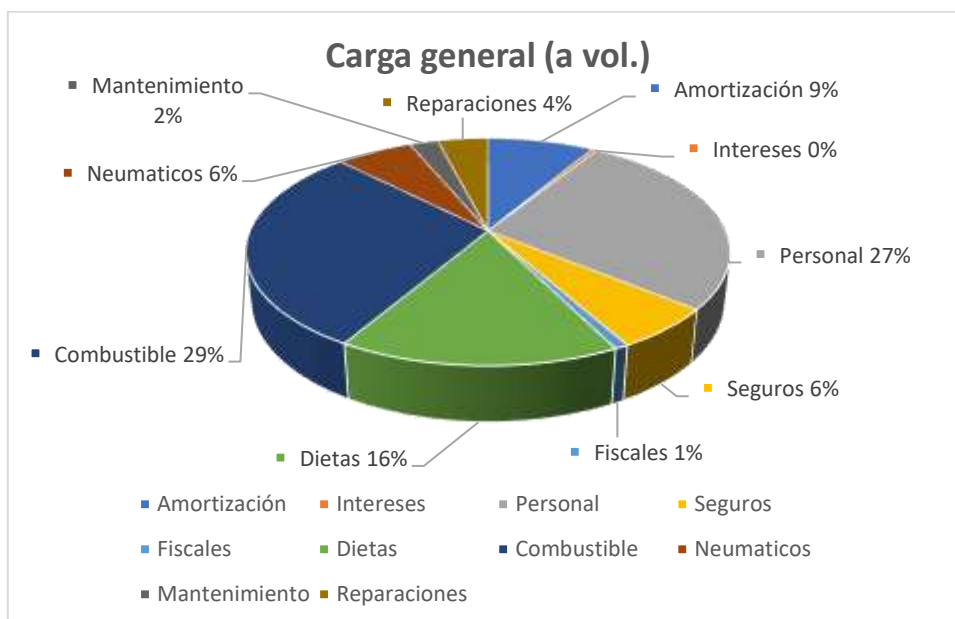


Gráfico 63. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris y carga general (a vol.)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,678 €/km**.

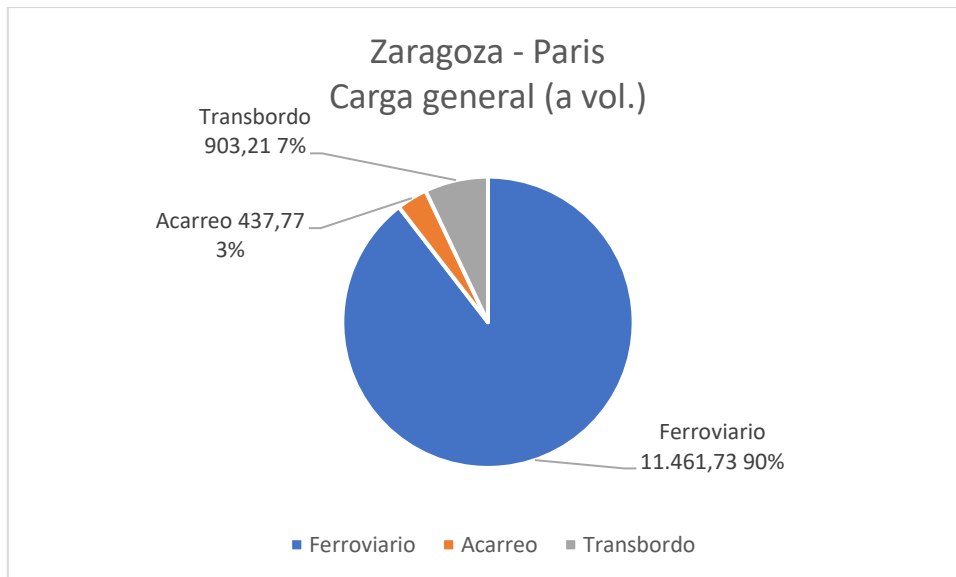


Gráfico 64. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris con carga general (a vol.)

### 4.7.3. FRIGORÍFICO

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,963 €/km**.

La distribución porcentual del coste total según el tipo o componente de coste es de la siguiente manera:

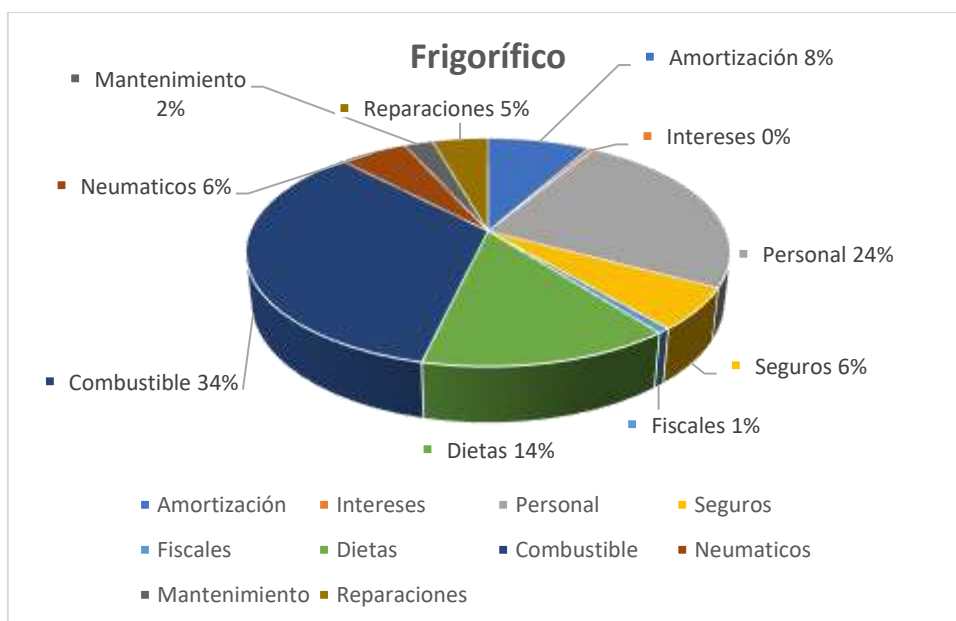


Gráfico 65. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris y carga frigorífica

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,712 €/km**.

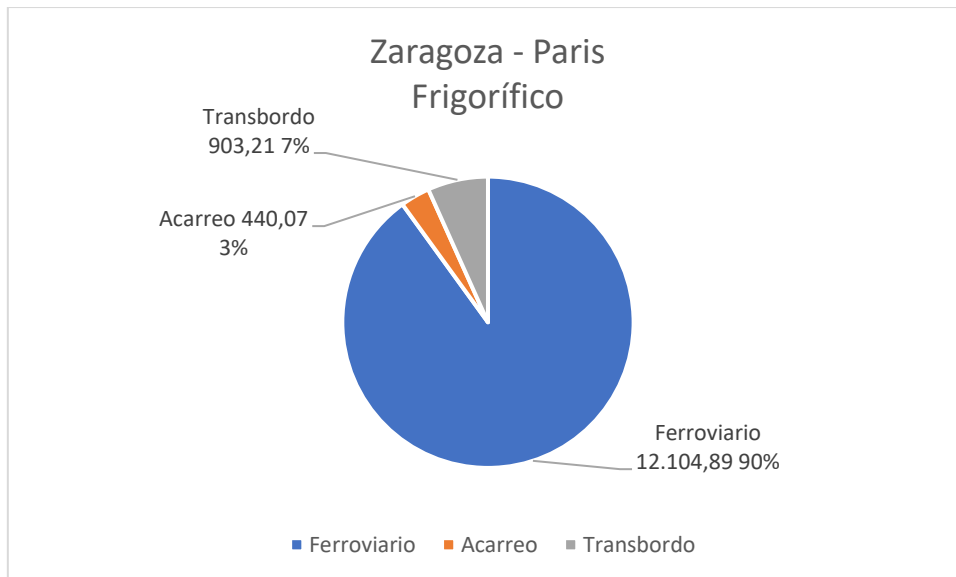


Gráfico 66. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris con carga frigorífica

#### 4.7.4. GRANEL

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,896 €/km**. No obstante, en este caso la vuelta siempre es en vacío, por lo que circula solo el 50% de los kilómetros en carga. Entonces, el coste por kilómetro recorrido en carga es 1,792 €/km.

La distribución porcentual del coste total según el tipo o componente de coste es de la siguiente manera:

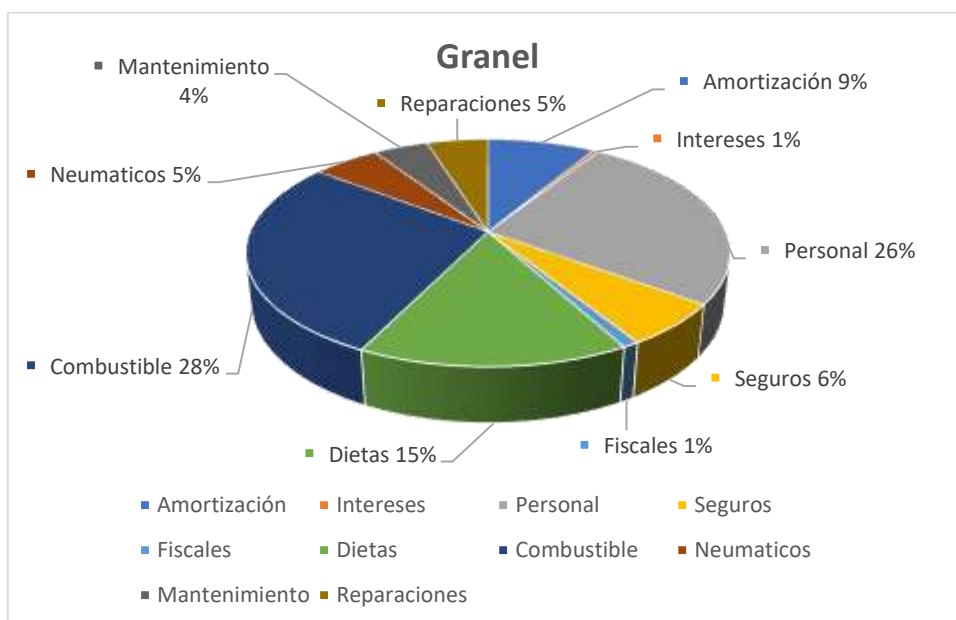


Gráfico 67. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris y carga a granel

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,688 €/km**.

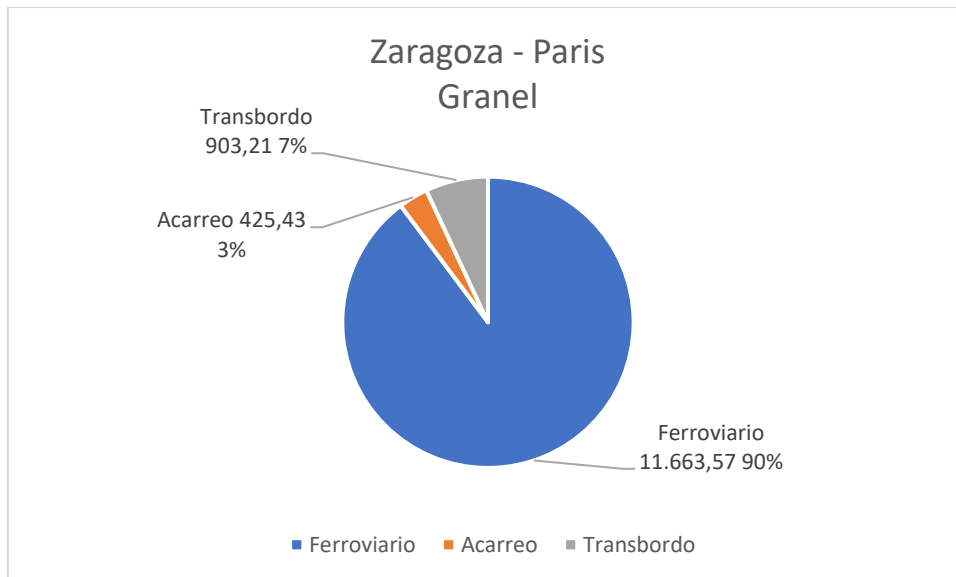


Gráfico 68. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris con carga a granel

#### 4.7.5. PORTAVEHÍCULOS

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,864 €/km**. Al igual que para la carga a granel, en este caso la vuelta también siempre es en vacío. Así pues, el coste por kilómetro recorrido en carga es 1,728 €/km.

La distribución porcentual del coste total según el tipo o componente de coste es de la siguiente manera:

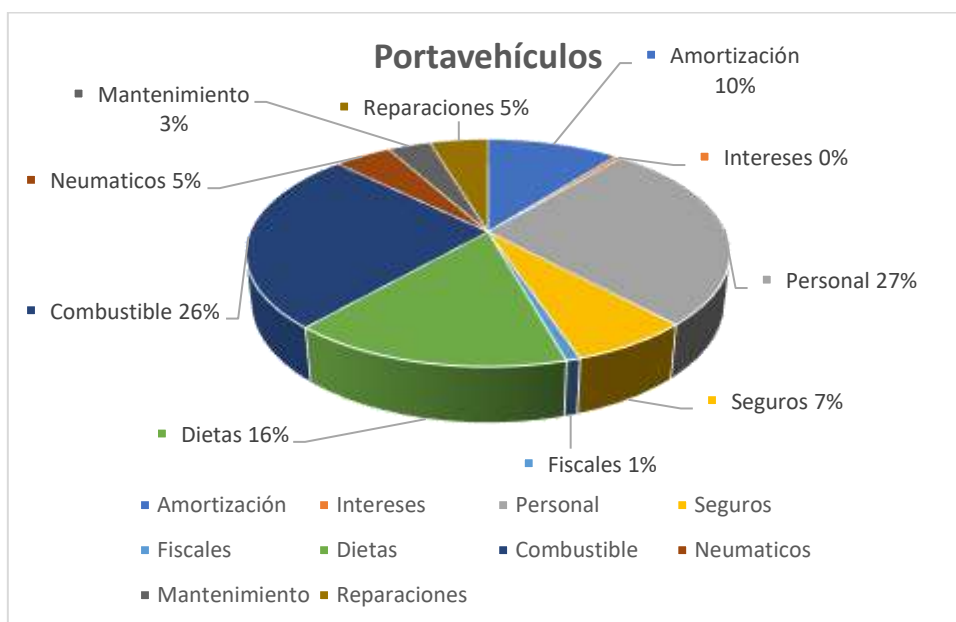


Gráfico 69. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris y carga porta-vehículos

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,665 €/km**.

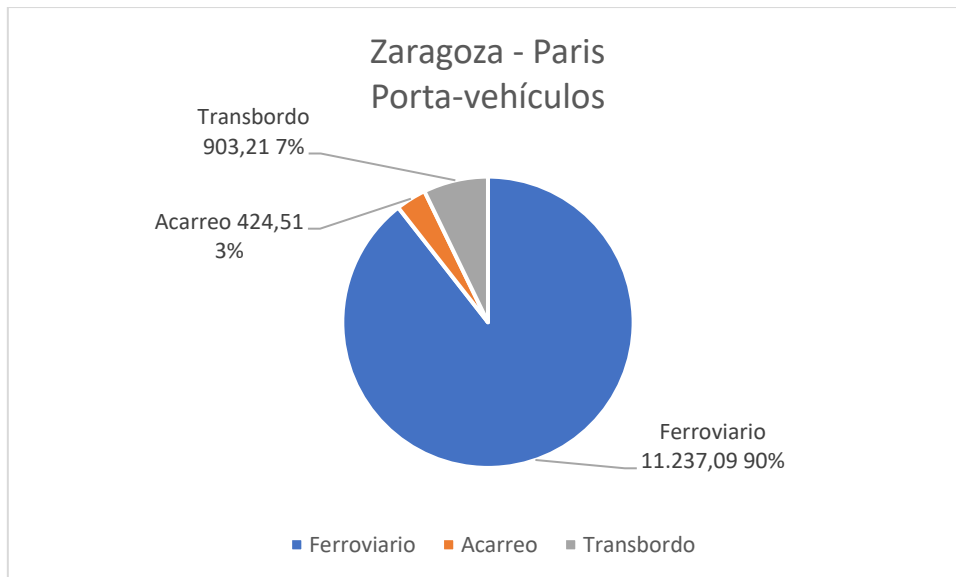


Gráfico 70. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Paris con carga porta-vehículos

#### 4.8. ZARAGOZA – BARCELONA – LE BOULOU – BETTEMBOURG

En esta última ruta se va a añadir el modelo de transporte denominado autopista ferroviaria.

##### 4.8.1. CARGA GENERAL (A PESO)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,921 €/km**.

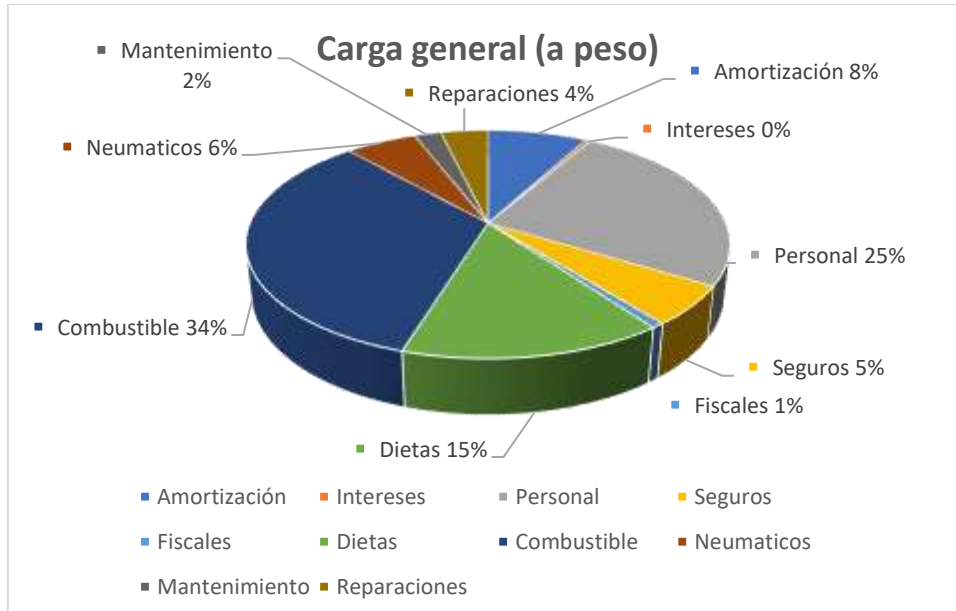


Gráfico 71. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg y carga general (a peso)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,698 €/km**.

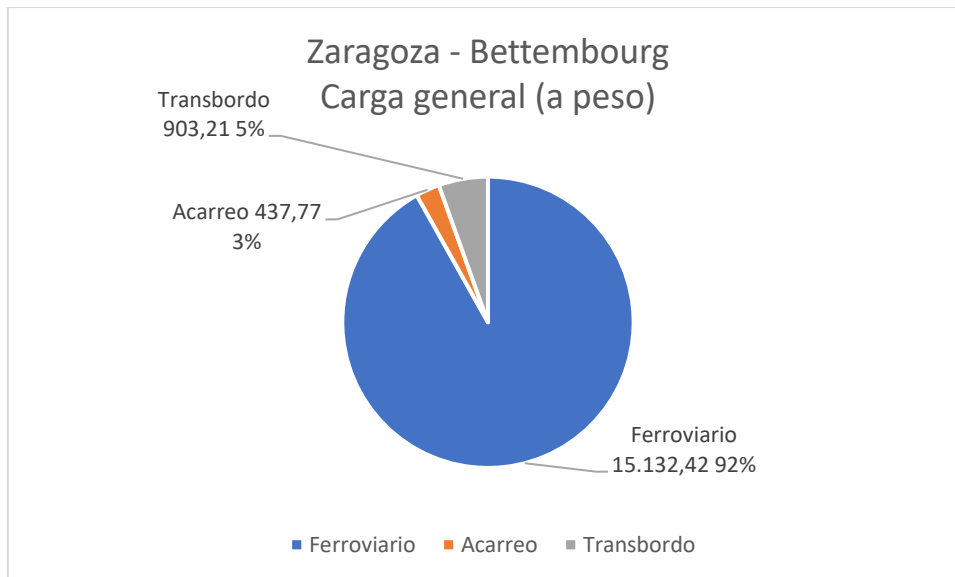


Gráfico 72. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg con carga general (a peso)

- Autopista ferroviaria:

En primer lugar, el coste de transporte por carretera para el tramo Zaragoza – Le Boulou es de 0,940 €/km. Por otro lado, sin embargo, el coste de transporte ferroviario para el tramo Le Boulou – Bettembourg es de 0,730 €/km.

Por lo tanto, el valor promedio de coste por kilómetro recorrido en el caso de la autopista ferroviaria es de **0,835 €/km**.

#### 4.8.2. CARGA GENERAL (A VOLUMEN)

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,882 €/km**.

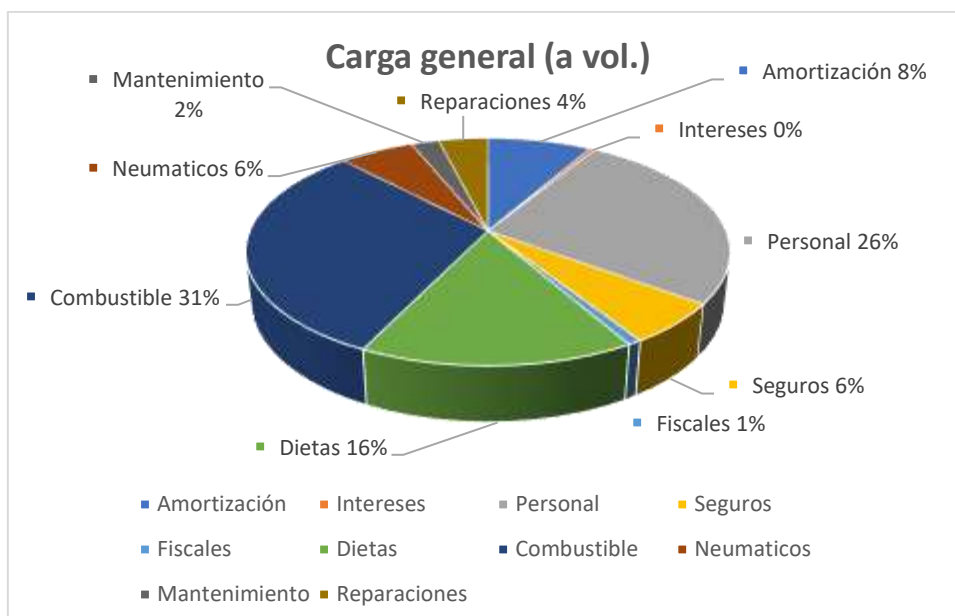


Gráfico 73. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg y carga general (a vol.)

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,664 €/km**.

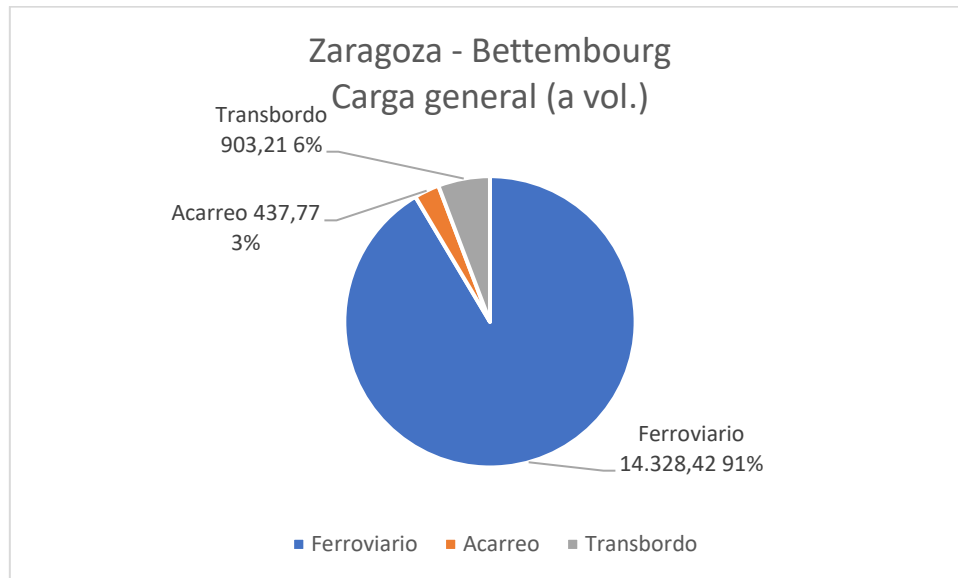


Gráfico 74. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg con carga general (a vol.)

- Autopista ferroviaria:

En primer lugar, el coste de transporte por carretera para el tramo Zaragoza – Le Boulou es de 0,897 €/km. Por otro lado, sin embargo, el coste de transporte ferroviario para el tramo Le Boulou – Bettembourg es de 0,695 €/km.

Por lo tanto, el valor promedio de coste por kilómetro recorrido en el caso de la autopista ferroviaria es de **0,796 €/km**.

#### 4.8.3. FRIGORÍFICO

- Transporte por carretera:

El coste por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,986 €/km**.

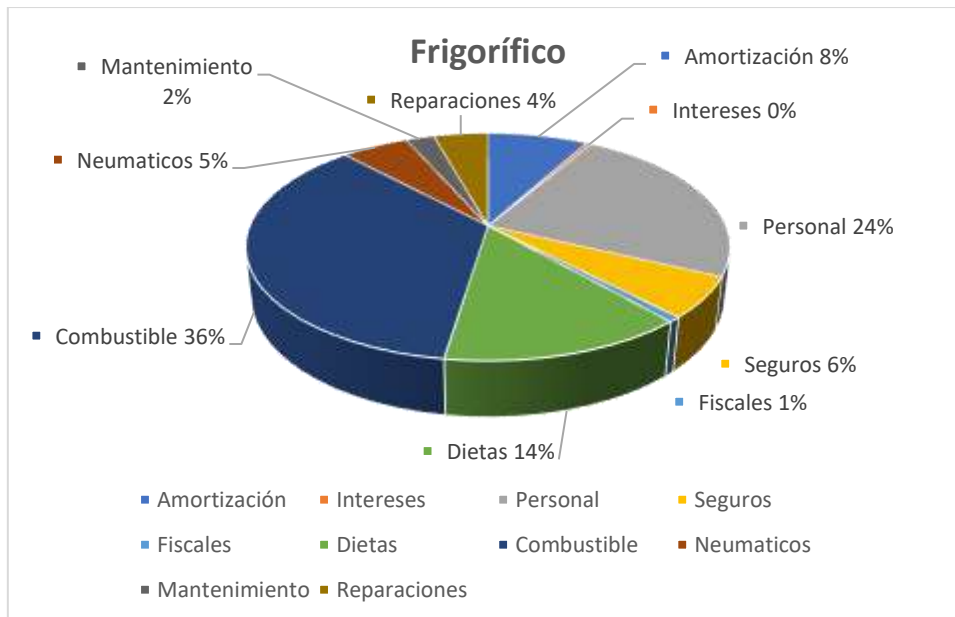


Gráfico 75. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg y carga frigorífica

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,698 €/km**.

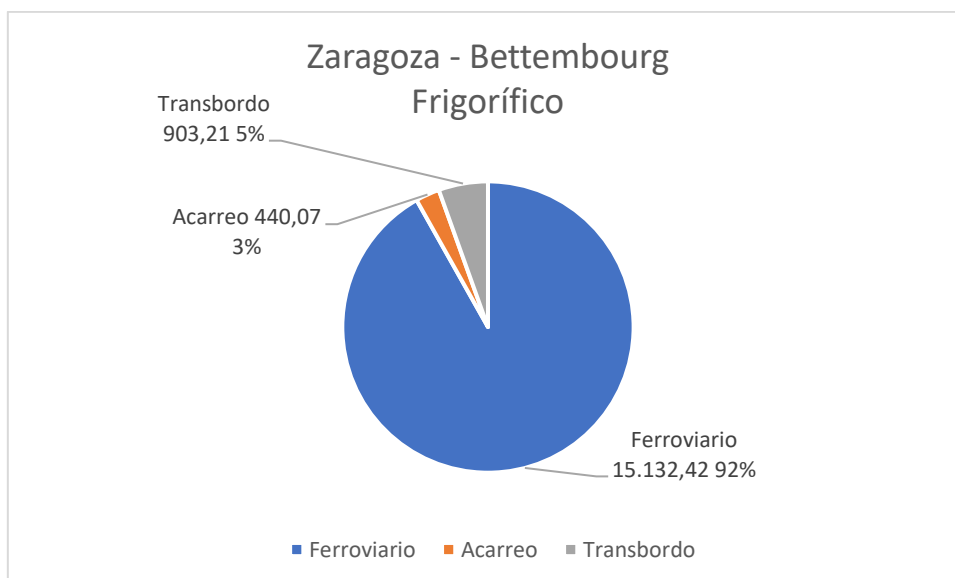


Gráfico 76. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg con carga frigorífica

- Autopista ferroviaria:

En primer lugar, el coste de transporte por carretera para el tramo Zaragoza – Le Boulou es de 1,005 €/km. Por otro lado, sin embargo, el coste de transporte ferroviario para el tramo Le Boulou – Bettembourg es de 0,730 €/km.

Por lo tanto, el valor promedio de coste por kilómetro recorrido en el caso de la autopista ferroviaria es de **0,867 €/km**.

#### 4.8.4. GRANEL

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,914 €/km**. No obstante, en este caso la vuelta siempre es en vacío, por lo que circula solo el 50% de los kilómetros en carga. Entonces, el coste por kilómetro recorrido en carga es 1,828 €/km.

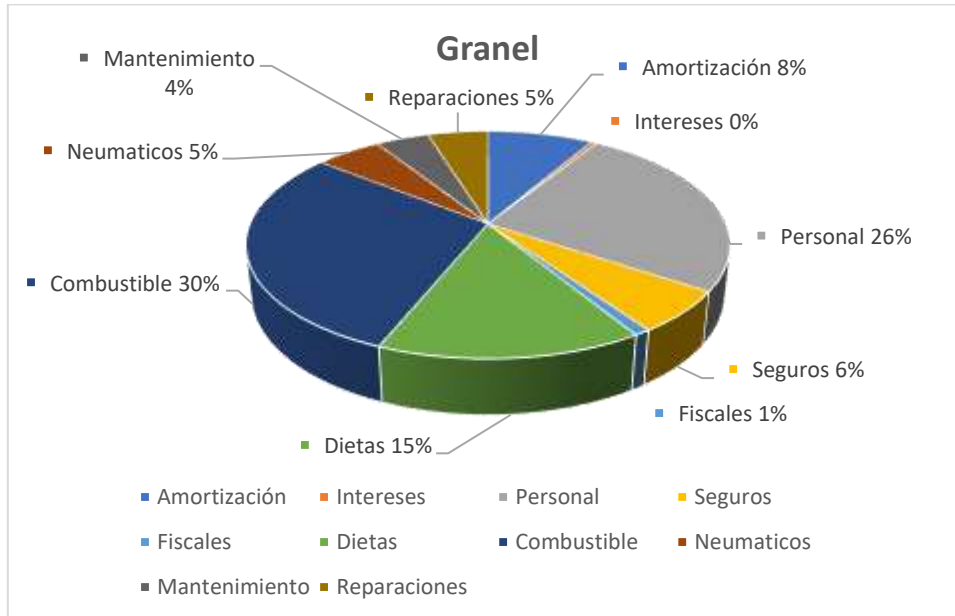


Gráfico 77. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg y carga a granel

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,674 €/km**.

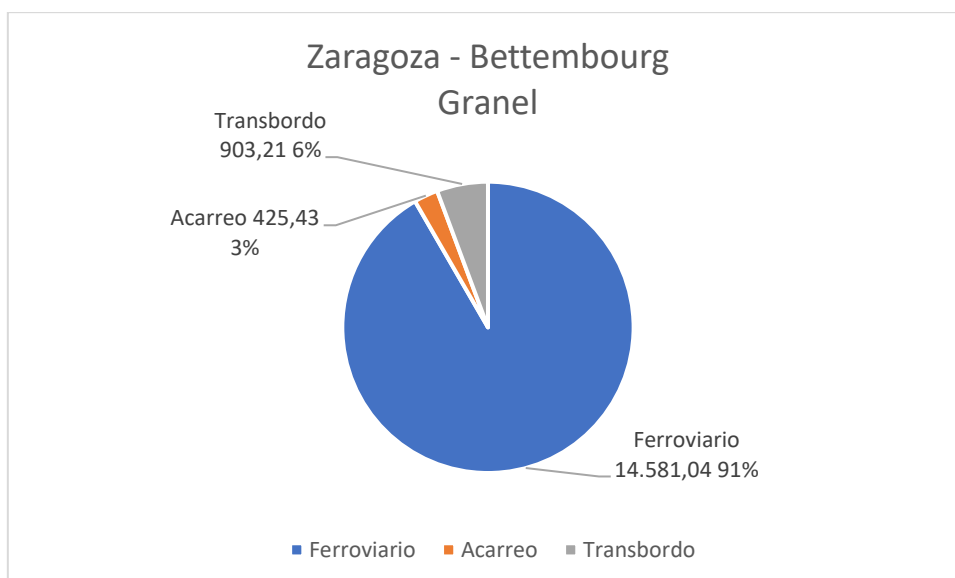


Gráfico 78. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg con carga a granel

- Autopista ferroviaria:

En primer lugar, el coste de transporte por carretera para el tramo Zaragoza – Le Boulou es de 0,928 €/km. Por otro lado, sin embargo, el coste de transporte ferroviario para el tramo Le Boulou – Bettembourg es de 0,707 €/km.

Por lo tanto, el valor promedio de coste por kilómetro recorrido en el caso de la autopista ferroviaria es de **0,817 €/km**.

#### 4.8.5. PORTAVEHÍCULOS

- Transporte por carretera:

El coste total por kilómetro recorrido, en este caso, es de **0,878 €/km**. Al igual que para la carga a granel, en este caso la vuelta también siempre es en vacío. Así pues, el coste por kilómetro recorrido en carga es 1,757 €/km.

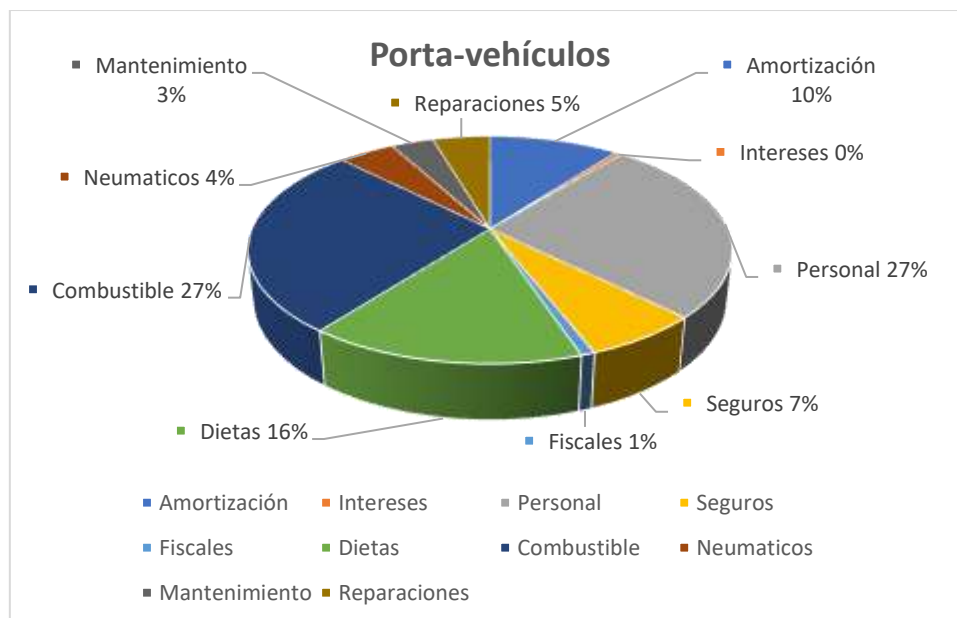


Gráfico 79. Costes por carretera obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg y carga porta-vehículos

- Transporte ferroviario:

El coste por kilómetro recorrido, en el caso del transporte ferroviario, es de **0,651 €/km**.

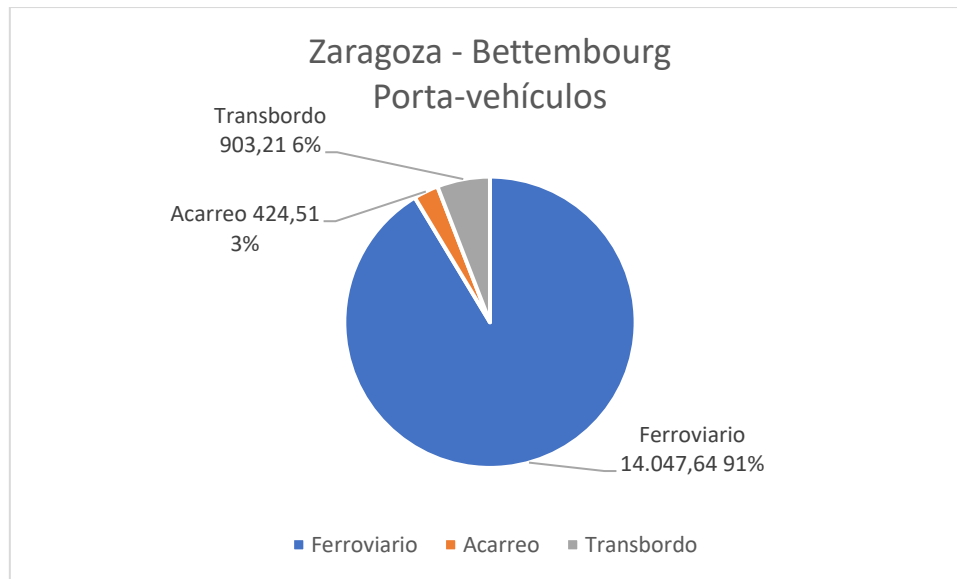


Gráfico 80. Costes ferroviarios obtenidos en la ruta Zaragoza – Bettembourg con carga porta-vehículos

- Autopista ferroviaria:

En primer lugar, el coste de transporte por carretera para el tramo Zaragoza – Le Boulou es de 0,889 €/km. Por otro lado, sin embargo, el coste de transporte ferroviario para el tramo Le Boulou – Bettembourg es de 0,683 €/km.

Por lo tanto, el valor promedio de coste por kilómetro recorrido en el caso de la autopista ferroviaria es de **0,786 €/km**.

## 5. COMPARATIVA

Una vez obtenidos todos los resultados y datos en el apartado anterior, se va a elaborar una tabla resumen simplificada de los costes de transporte por carretera y los costes de transporte por ferrocarril, para poder hacer una comparación de manera sencilla entre ambos.

CARRETERA	GENERAL A PESO	GENERAL A VOLUMEN	FRIGORÍFICO	GRANEL	PORTA VEHÍCULOS
ZGZ – BILBAO	0,938	0,897	1,004	0,926	0,890
ZGZ - BARCELONA	0,938	0,898	1,006	0,928	0,889
ZGZ – VALENCIA	0,947	0,901	1,011	0,931	0,892
ZGZ – ALGECIRAS	0,938	0,895	1,003	0,926	0,888
ZGZ – VIGO	0,952	0,906	1,017	0,936	0,894
ZGZ – LISBOA	0,932	0,889	0,997	0,919	0,882
ZGZ - PARIS	0,898	0,864	0,963	0,896	0,864
ZGZ - BETENBURGO	0,921	0,882	0,986	0,914	0,878

Tabla 16. Resumen de costes/km obtenidos para transporte por carretera

FERROVIARIO	GENERAL A PESO	GENERAL A VOLUMEN	FRIGORÍFICO	GRANEL	PORTA VEHÍCULOS
ZGZ – BILBAO	0,890	0,856	0,891	0,862	0,842
ZGZ - BARCELONA	0,933	0,899	0,934	0,905	0,884
ZGZ – VALENCIA	1,104	1,103	1,104	1,798	1,216
ZGZ – ALGECIRAS	0,733	0,699	0,733	0,706	0,686
ZGZ – VIGO	0,729	0,695	0,729	0,703	0,682
ZGZ – LISBOA	0,718	0,684	0,718	0,691	0,671
ZGZ - PARIS	0,712	0,678	0,712	0,688	0,665
ZGZ - BETENBURGO	0,698	0,664	0,698	0,674	0,651

Tabla 17. Resumen de costes/km obtenidos para transporte ferroviario

AUTOPISTA FERROVIARIA	GENERAL A PESO	GENERAL A VOLUMEN	FRIGORÍFICO	GRANEL	PORTA VEHÍCULOS
ZGZ - BETENBURGO	0,835	0,796	0,867	0,817	0,786

Tabla 18. Resumen de costes/km obtenidos para autopista ferroviaria

En los resultados obtenidos, se visualiza que para todos los casos menos para los subrayados en rojo en la Tabla 17, el coste por transporte ferroviario es inferior al coste por camión.

Prácticamente en el único caso en que el transporte ferroviario es más costoso es cuando la tracción se produce a través de combustible diésel. Esto tiene sentido, ya que al pesar mucho más el tren, el consumo de combustible es mucho mayor y, como no es locomotora de tracción eléctrica, no se hace uso de la ventaja de la optimización de coste en el consumo eléctrico.

No obstante, se explican las razones y conclusiones de los costes y diferencias obtenidas en el apartado CONCLUSIONES.

Es de mencionar también, que como era de intuir, el coste de transporte por autopista ferroviaria es un valor intermedio entre el coste de transporte por carretera (caso caro) y el coste de transporte ferroviario (caso barato). Esto es porque al final este tipo de transporte no deja de ser una mezcla de los dos.

En los siguientes gráficos se observan las diferencias entre unos costes y otros de manera más ilustrativa. Cabe recordar que todo está evaluado en euros por kilómetro recorrido y contenedor transportado.

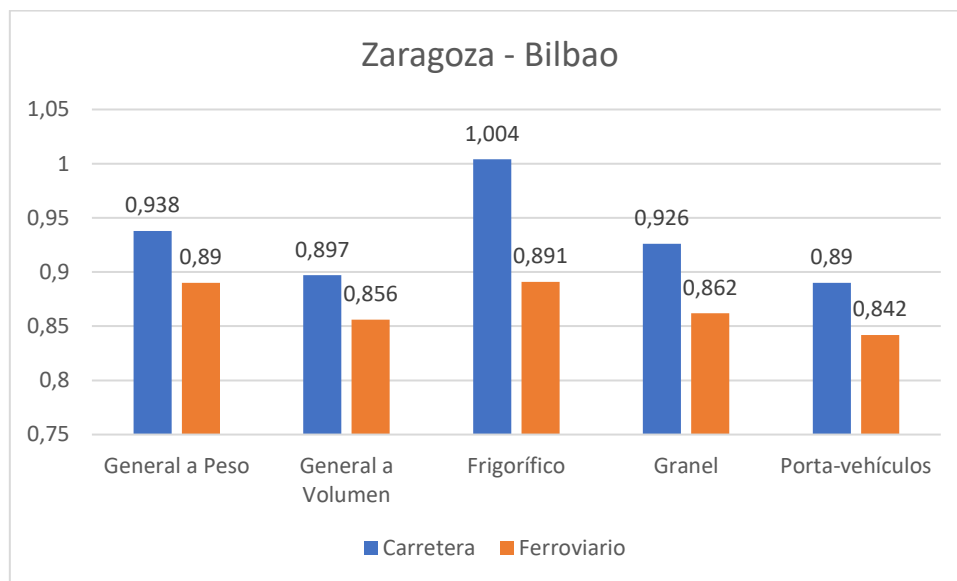


Gráfico 81. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Bilbao

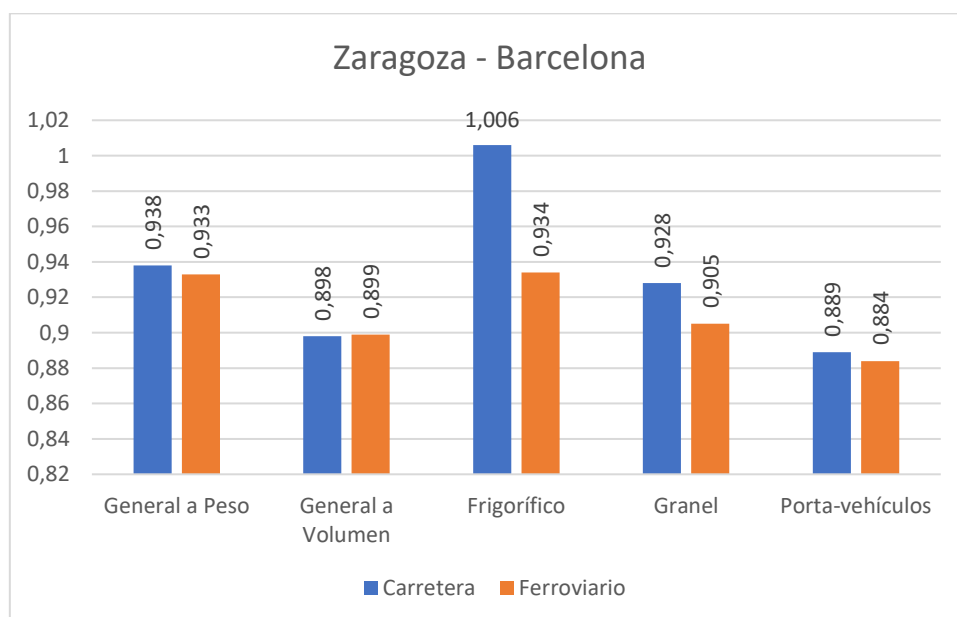


Gráfico 82. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Barcelona

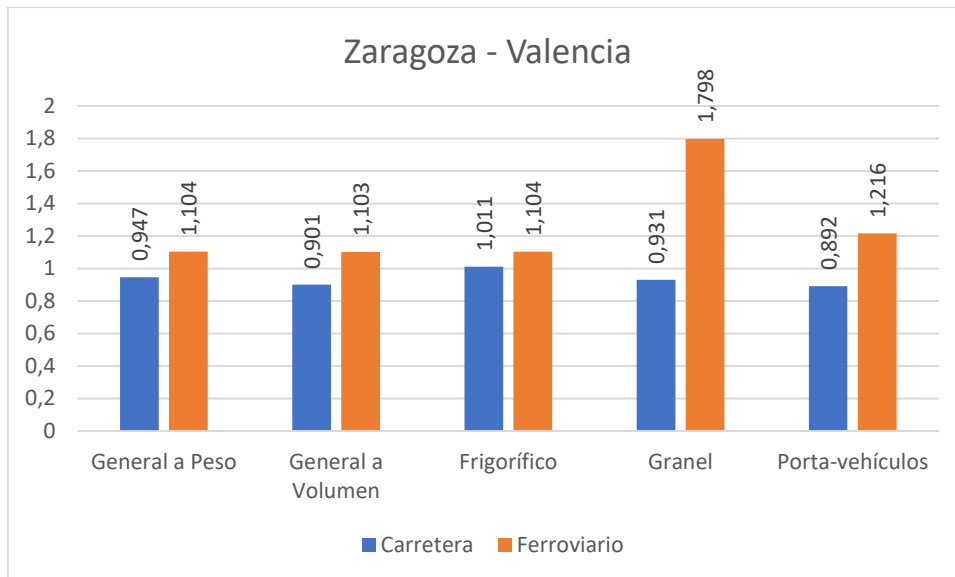


Gráfico 83. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Valencia

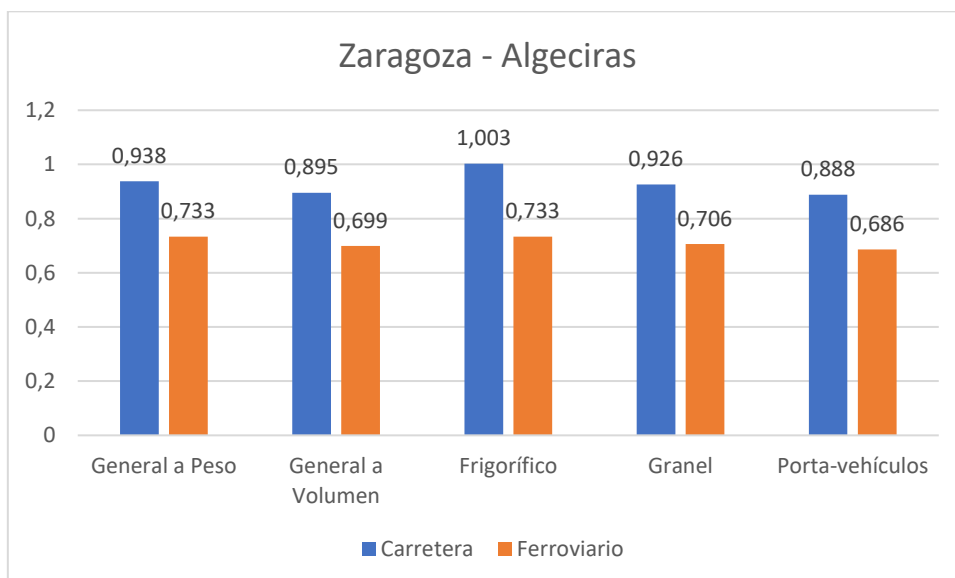


Gráfico 84. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Algeciras

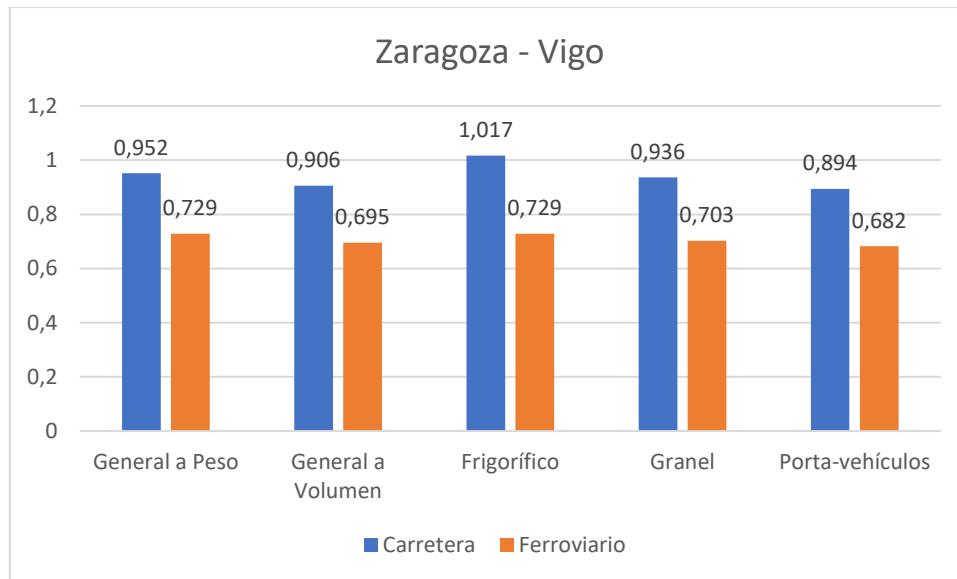


Gráfico 85. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Vigo

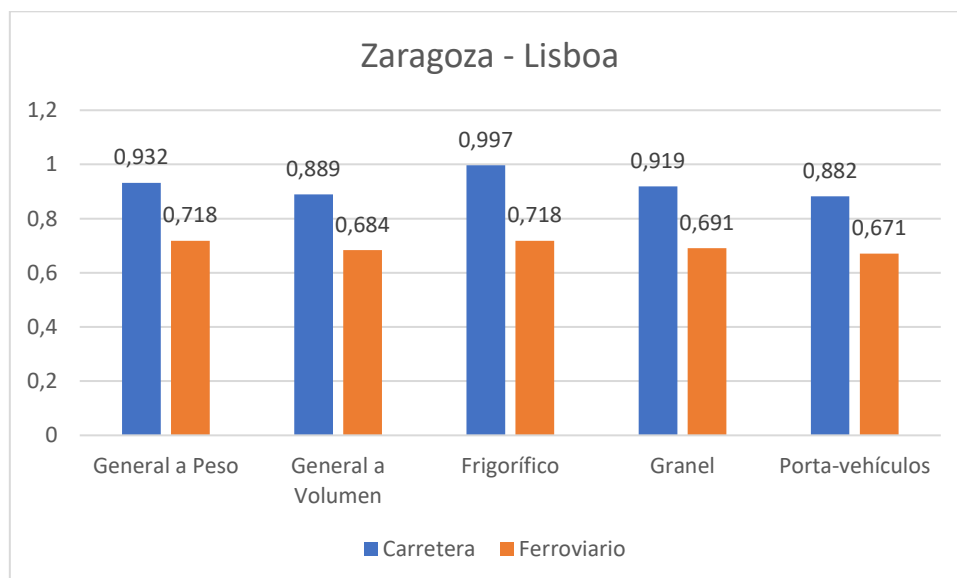


Gráfico 86. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Lisboa

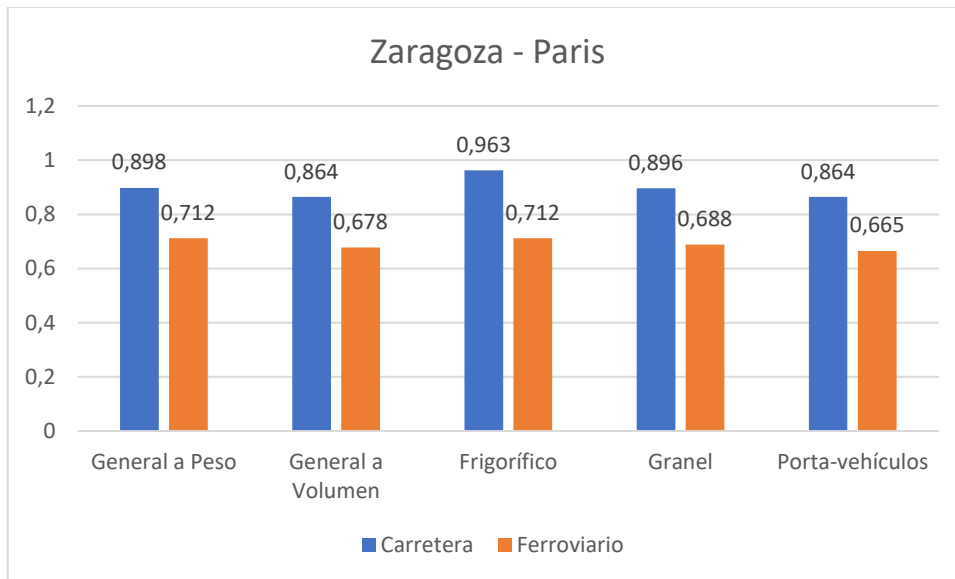


Gráfico 87. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Paris

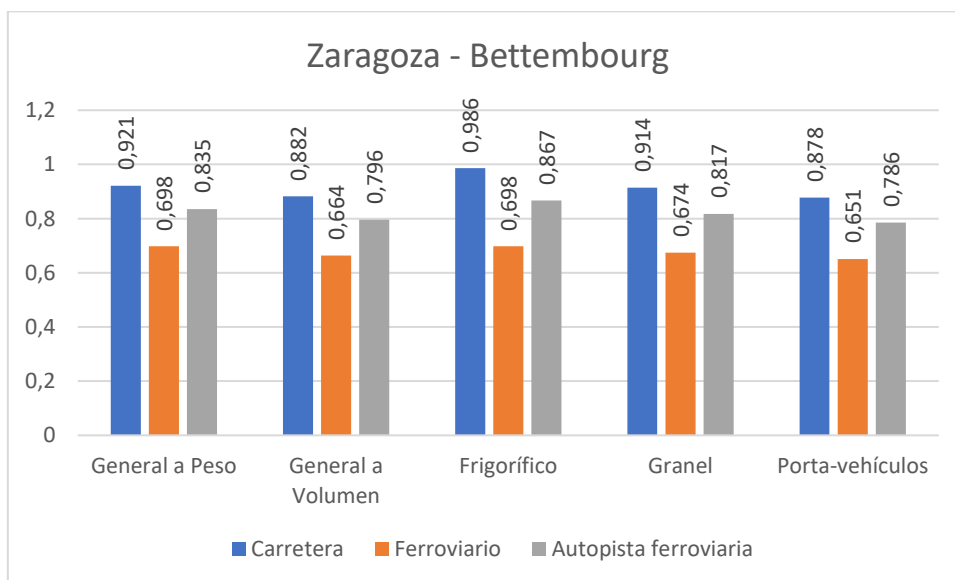


Gráfico 88. Comparativa de costes de cada carga para la ruta Zaragoza – Bettembourg

Claramente se puede observar que para cada ruta y carga el coste de transporte ferroviario es inferior, excepto para la ruta Zaragoza – Valencia, como bien hemos comentado. Se observa, también, en el Gráfico 88 que el coste de autopista ferroviaria es intermedio a los otros dos.

También, se observa que, para distancias largas, como puede ser Zaragoza – Algeciras o Zaragoza - Paris, el coste por transporte ferroviario es menor que para distancias cortas, como puede ser Zaragoza – Barcelona. Esto es debido a la existencia de costes fijos, como pueden ser los costes de acarreo o transbordo, y recorrer más distancia, provoca que el coste por kilómetro sea menor.

Otra comparativa interesante a realizar, la cual es ya más técnica y no tan económica, es cómo influye la carga y el peso en el consumo de combustible. Lo haremos viendo cuál es el porcentaje promedio de cada tipo de carga en todas las rutas. Así se observará como influye sobre el consumo que el contenedor pese más o menos, y que la vuelta sea en vacío o completamente cargada.

Entonces, los porcentajes de consumos promedios según el tipo de carga son de la siguiente manera:

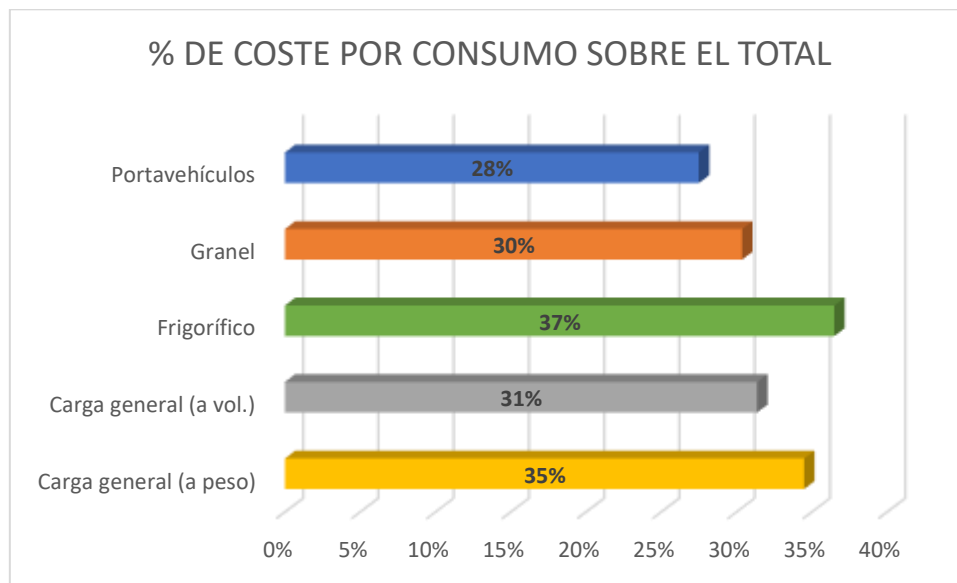


Gráfico 89. Porcentaje de coste por consumo de combustible sobre el total

Se visualiza que el orden de mayor a menor consumo de combustible según el tipo de carga y, por consiguiente, el orden en el que el consumo influye sobre el coste total de mayor a menor orden según el tipo de carga sería: Frigorífico → Carga general (a peso) → Carga general (a vol.) → Granel → Porta-vehículos.

El orden obtenido es lógico. El frigorífico es y debería ser el que más influye en el consumo porque considera tanto el consumo del motor como el de los equipos de refrigeración y, además, va cargado completamente a su MMA tanto en la ida como en la vuelta.

Éste va seguido de la carga general (a peso) ya que, al igual que la frigorífica, va cargado completamente tanto en la ida como en la vuelta. Sin embargo, ésta solo tiene en cuenta el consumo del motor debido a que carece de equipos de refrigeración.

Después va la carga general (a volumen), lo cual puede ser impactante siendo que la carga a granel tiene un peso total de 40.000 kilogramos y está tan solo 28.250. Sin embargo, finalmente, tiene más impacto que la carga a granel vuelva cargado a vacío y la carga general a volumen no.

Por último, como es evidente, en el que menos influye es la carga porta-vehículos dado que esté va cargado a la ida únicamente con 23.500 kilogramos y la vuelta va en vacío.

## 6. CONCLUSIONES

Antes de comenzar a exponer las conclusiones definitivas es relevante recordar cuál era el objetivo de este proyecto. El objetivo era básicamente conocer si es más rentable transportar una mercancía a través de transporte por carretera o a través de transporte ferroviario.

Esto depende de una serie de factores. Los dos más importantes son: en primer lugar, el consumo de combustible que se tiene según la ruta y carga, éste es el coste variable más determinante e impactará directamente sobre el coste final y; en segundo lugar, si llegamos a absorber con el número de contenedores los costes fijos tan grandes que hay en el transporte ferroviario.

El consumo de combustible en transporte por camión depende fundamentalmente de la pendiente de la ruta y del peso de la carga. Cuanto más pendiente se tiene, más se consume. Lo mismo pasa con el peso, cuanto más pesa la carga, más se consume. Cabe mencionar que tiene mayor impacto el aumento de peso que el de la pendiente. Por otro lado, en el caso del transporte ferroviario, el impacto en el combustible lo tiene el peso de la carga únicamente, dado que todas las vías suelen estar diseñadas con una rampa máxima similar.

Entonces, dado que el consumo es prácticamente el único coste variable, para las cargas más pesadas, como la frigorífica o la carga general a peso, el coste será también mayor al ser el consumo mayor.

Para finalizar, como última conclusión, hay que destacar que en casi todos los casos el coste de transporte ferroviario es menor que el de carretera. Únicamente como excepción encontramos la ruta Zaragoza – Valencia que, al ser el transporte ferroviario tracción por combustible diésel, tiene un muy alto consumo.

En los demás casos el consumo es menor debido a que, con los quince contenedores transportados elegidos como hipótesis, se llega a absorber los altos costes fijos que se tienen en el transporte ferroviario. El coste por transporte ferroviario depende fundamentalmente de cuantos contenedores transportamos por envío. Si fuésemos reduciendo el número de contenedores transportados, iría aumentando el coste por kilómetro hasta superar el que se tiene en el transporte por carretera.

Absorber mejor los costes parece lógico ya que en el caso del transporte ferroviario empleas un solo maquinista y una locomotora para transportar un gran número de contenedores. Además, como es evidente, con las hipótesis utilizadas, para transportar setenta y cinco contenedores tienes que hacer cinco trayectos en transporte ferroviario mientras que en el transporte por carretera tienes que hacer cien, lo que implica un mayor consumo, mayor coste de mano de obra, mayor coste de mantenimiento, etc.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Aplicaciones y consultas.*

<https://www.mitma.gob.es/transporte-terrestre/servicios-al-transportista/descarga-de-programas/acotram-240>

Google Earth Pro. *Programa de Navegación para la obtención de rutas.*

Crea tu Ruta.

<https://www.creaturuta.com/>

GPS Visualizer. *Convertidor de archivos GPS a archivos GPX.*

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

Programa TCX Converter. *Convertidor de archivos GPX a archivos CSV (legibles por Excel).*

Acotram 2.4.1 (2017). *Programa de calculo de costes de transporte por carretera.*

Ecotransit. *Calculadora de consumos y emisiones gaseosas.*

<https://www.ecotransit.org/en/emissioncalculator/>

Tesis doctoral del alumno Jesús Medrano Bosque realizada en 2015 en la Universidad de Zaragoza. *Análisis de la influencia de la operativa y la explotación ferroviaria en la estructura de costes del transporte intermodal.*

ADIF. *Servicios y régimen económico y tributario.*

<https://www.adif.es/documents/20124/1587197/R%C3%A9gimen+tributario+c%C3%A1nones+2021.pdf/d0225e44-751f-4b79-b9ea-d0d5b9da0fb5?t=1653991223708>

## ANEXOS

### ANEXO I. PERFILES DE LAS RUTAS

En este primer Anexo se van a adjuntar los perfiles obtenidos en cada una de las rutas, a través de los cuales se han obtenido las pendientes y los consumos del transporte por carretera.

- Zaragoza – Bilbao:



Gráfico 90. Perfil de elevación de la ruta Zaragoza - Bilbao

- Zaragoza – Barcelona:



Gráfico 91. Perfil de elevación de la ruta Zaragoza - Barcelona

- Zaragoza – Valencia:

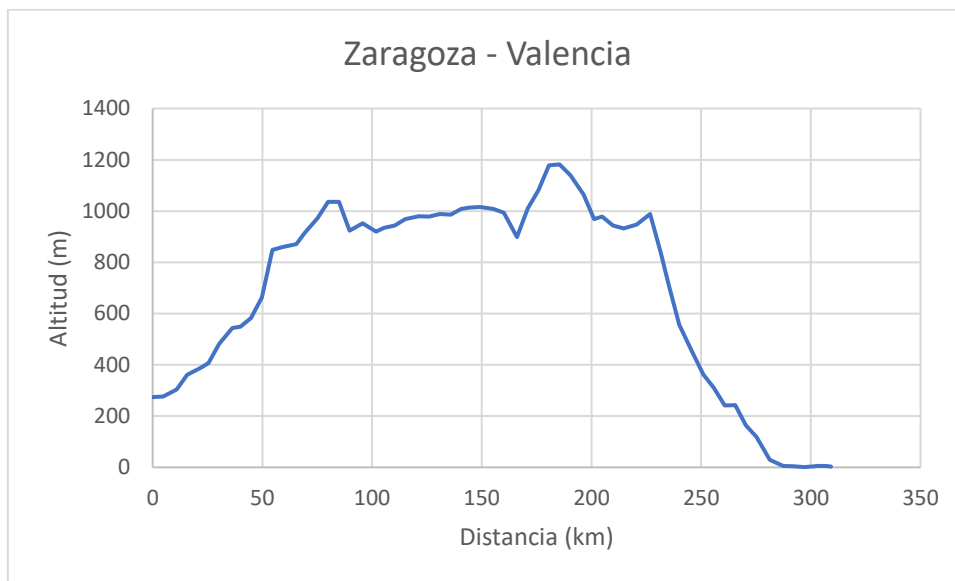


Gráfico 92. Perfil de elevación de la ruta Zaragoza - Valencia

- Zaragoza – Algeciras:

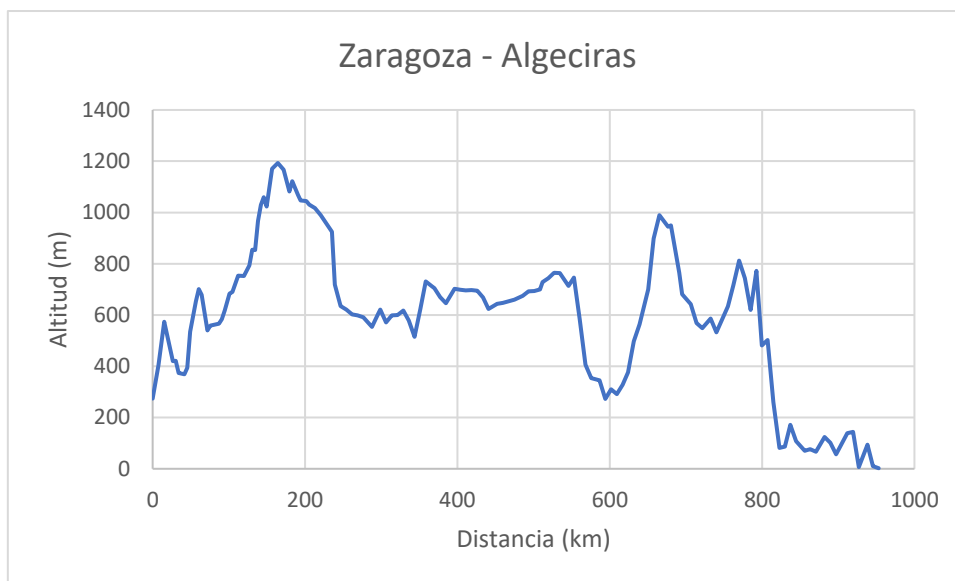


Gráfico 93. Perfil de elevación de la ruta Zaragoza - Algeciras

- Zaragoza – Vigo:



Gráfico 94. Perfil de elevación de la ruta Zaragoza - Vigo

- Zaragoza – Lisboa:



Gráfico 95. Perfil de elevación de la ruta Zaragoza - Lisboa

- Zaragoza – Paris:

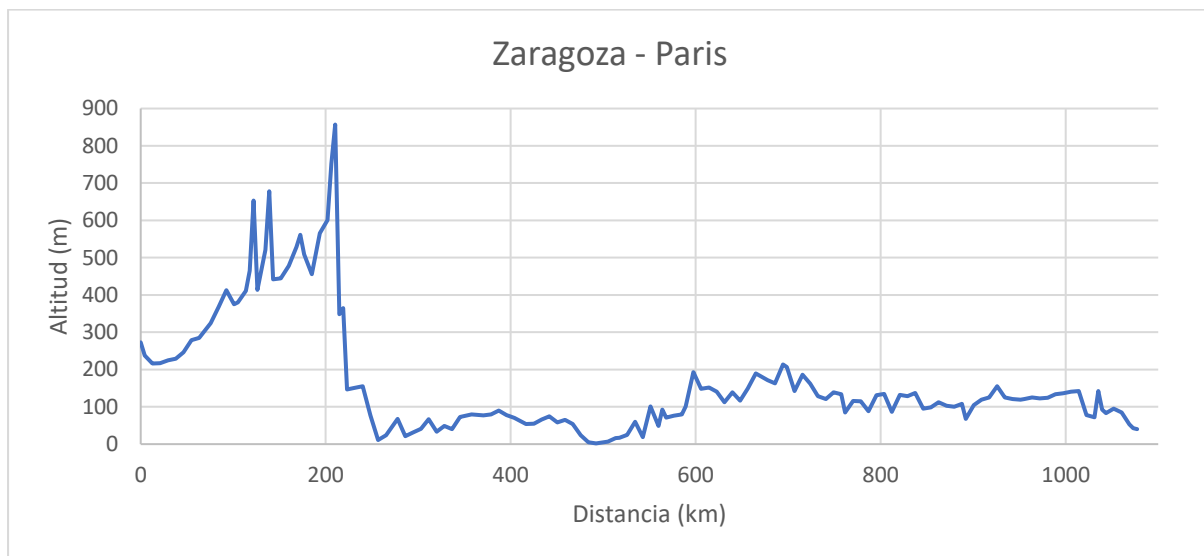


Gráfico 96. Perfil de elevación de la ruta Zaragoza - Paris

- Zaragoza – Bettembourg:

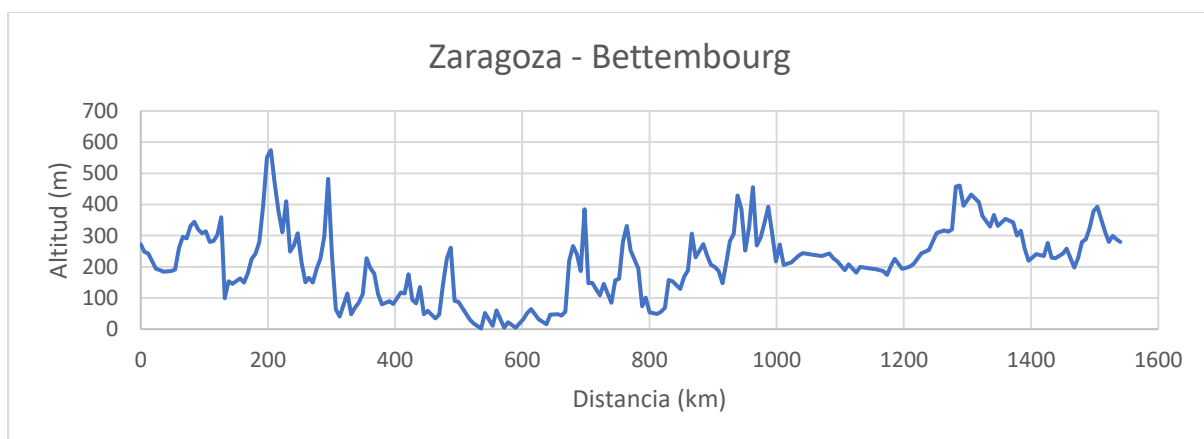


Gráfico 97. Perfil de elevación de la ruta Zaragoza - Bettembourg

## ANEXO II. SISTEMA DE CÁLCULO DE COSTES EN TRANSPORTE POR CARRETERA

En el ANEXO II se va a exponer un ejemplo práctico de cálculo de consumo de combustible para mostrar cómo se diseñó el fichero Excel. Emplearemos la ruta Zaragoza – Bilbao y la carga general cargada a peso, sólo la ida.

Además, se mostrará cómo se han de introducir los datos a Acotram para que el programa calcule los costes.

El fichero tiene una pestaña de cálculo de ida y otra de vuelta para cada ruta. Si nos situamos en la pestaña Zaragoza – Bilbao (ida), en primer lugar, encontramos la siguiente tabla. Es básicamente una tabla con los datos iniciales para poder realizar el cálculo.

Seleccionando el tipo de vehículo se rellena automáticamente la carga que tiene el conjunto del vehículo. Todos los demás son constantes para toda ruta y carga, éstos son la gravedad,

altura y anchura, velocidad, coeficiente de fricción, poder calorífico del combustible diésel y su densidad.

*\*Selecciona el tipo de vehículo\**

Tipo vehículo	Carga general (a peso)	
<b>Data</b>		
$Q$	40.000 kg	
$g$	9,80 m/s <sup>2</sup>	
$h$	4 m	
$w$	2,55 m	
$v$	70 km/h	19,44 m/s
$va$	15 km/h	4,17 m/s
$\mu$	0,01	
$PCS_{gasoil}$	10.200 kcal/kg	42.676.800 Ws/kg
$\rho_{gasoil}$	850 kg/m <sup>3</sup>	0,85 kg/l

Figura 15. Datos iniciales para el cálculo del consumo de combustible en camión

El dato de la carga de cada tipo de vehículo se nutre de la siguiente tabla de pesos situada en otra pestaña del Excel.

Pesos	Tara	Carga útil	MMA	Mercancia	Peso final
Carga general (a peso)	16500	23500	40000	23500	40000
Carga general (a vol.)	16500	23500	40000	11750	28250
Granel	16000	24000	40000	24000	40000
Frigorífico	16500	23500	40000	23500	40000
Portavehículos	13500	26500	40000	10000	23500

Figura 16. Tabla de pesos según tipo de carga

Cabe recordar que en la ida todos tendrán como carga el peso final. Pero en la vuelta, la carga a granel y la carga porta-vehículos tendrán como carga únicamente la tara.

En la misma pestaña dónde se encuentran los datos iniciales, seguidamente está ya directamente una tabla con el cálculo.

En la Figura 17 se muestra el ejemplo de cálculo de los primeros 100 kilómetros de la ruta Zaragoza – Bilbao y carga general a peso. Vemos que en las primeras tres columnas se calcula la pendiente de cada tramo. Después, se obtienen cada una de las resistencias y la resistencia total a través de sus fórmulas.

Y, una vez se tiene la resistencia total, se calcula el trabajo, con él la energía y con ella el consumo de cada tramo (última columna de la tabla). En la esquina inferior derecha se añade el consumo que se obtiene en esos primeros 100 kilómetros, con un valor de 28,70.

Haciendo esto para toda la distancia del trayecto, podemos obtener el consumo promedio cada 100 kilómetros e introducirlo ya en Acotram.

CÁLCULO												
Distancia (km)	Altitud (m)	Pendiente (m)	$R_{pendiente}$ (N)	$R_{resistencia}$ (N)	$R_{rodadura}$ (N)	$R_{total}$ (N)	$W_{total}$ (W)	$t$ (s)	$E_{total}$ (J)	$E_{total}$ (kWh)	Consumo (l)	
0	274	0	0	5.546	2.940	8.486	183.350	0,00	0	0	0,00	
5	229	-0,009	0	5.546	2.940	8.486	183.350	257,14	47.147.189	13	1,30	
10	208	-0,0042	0	5.546	2.940	8.486	183.350	257,14	47.147.189	13	1,30	
15	210	0,0004	137	5.546	2.940	8.483	188.738	257,14	48.018.301	13	1,32	
20	216	0,0012	470	5.546	2.940	8.557	193.513	257,14	48.760.523	14	1,37	
25	224	0,0016	627	5.546	2.940	9.114	196.901	257,14	50.631.634	14	1,40	
30	236	0,0024	941	5.546	2.940	9.427	203.676	257,14	52.373.856	15	1,44	
35	250	0,0028	1.098	5.546	2.940	9.584	207.064	257,14	53.284.967	15	1,47	
40	260	0,002	784	5.546	2.940	9.270	209.288	257,14	51.502.700	14	1,42	
45	254	-0,0012	0	5.546	2.940	8.486	183.350	257,14	47.147.189	13	1,30	
50	306	0,0104	4.077	5.546	2.940	12.563	271.428	257,14	69.790.070	19	1,92	
55	304	-0,0004	0	5.546	2.940	8.486	183.350	257,14	47.147.189	13	1,30	
60	269	-0,007	0	5.546	2.940	8.486	183.350	257,14	47.147.189	13	1,30	
65	266	-0,0006	0	5.546	2.940	8.486	183.350	257,14	47.147.189	13	1,30	
70	265	-0,0002	0	5.546	2.940	8.486	183.350	257,14	47.147.189	13	1,30	
75	276	0,0022	862	5.546	2.940	9.349	201.982	257,14	51.938.301	14	1,43	
80	274	-0,0004	0	5.546	2.940	8.486	183.350	257,14	47.147.189	13	1,30	
85	285	0,0022	862	5.546	2.940	9.349	201.982	257,14	51.938.301	14	1,43	
90	384	0,0198	7.782	5.546	2.940	16.248	351.039	257,14	90.267.189	25	2,49	
95	334	-0,01	0	5.546	2.940	8.486	183.350	257,14	47.147.189	13	1,30	
100	332	-0,0004	0	5.546	2.940	8.486	183.350	257,14	47.147.189	13	1,30	

Figura 17. Cálculo de los primeros 100 kms de la ruta Zaragoza – Bilbao y carga general (a peso)

En las figuras siguientes se va a observar cómo es el programa Acotram y cuales son los datos a introducir. A la derecha siempre nos muestran cuales son los valores estándar según el observatorio de costes. A la izquierda nosotros los adaptamos o introducimos, en el caso de que ese parámetro no esté de partida, según nuestras necesidades.

- Características técnicas:

Características Técnicas y de Explotación (Vehículo Articulado de Carga General)	
Cálculo Personalizado (16/11/2022)	Observatorio de Costes (31/10/2017)
<b>Características técnicas del vehículo</b>	
Descripción: Vehículo Articulado de Carga General	
Potencia (C.V.)	420
Masa Máxima Autorizada (kg)	40.000
Carga Útil (kg)	23.500
Número de ejes	5
<b>Características de explotación del vehículo</b>	
Descripción: Recorridos en carga superiores a 200 km	
<b>Kilómetros recorridos:</b>	
Kilómetros recorridos anualmente	150.000
Kilómetros recorridos anualmente en carga	100,0 % 150.000
Kilómetros recorridos anualmente en vacío	
<b>Tiempo de actividad:</b>	
Horas trabajadas al año	
Horas trabajadas al año en carga	
Horas trabajadas al año en vacío	
Días trabajados al año	
Horas trabajados por jornada	

Figura 18. Características técnicas en Acotram

- Costes fijos:

Costes Fijos (1) (Vehículo Articulado de Carga General)	
Cálculo Personalizado (16/11/2022)	Observatorio de Costes (31/10/2017)
<b>Vehículo de tracción</b>	
Forma de adquisición: <input checked="" type="radio"/> Compra <input type="radio"/> Otra forma (alquiler, ...)	
<b>Amortización</b>	
Valor de adquisición:	
- Precio de tarifa sin IVA (Euros)	105.000,00
- Descuento sobre tarifa (%)	10,0
- Precio de adquisición sin IVA (Euros)	94.500,00
Vida útil (años)	8,0
Valor residual:	
- Valor residual sobre precio de tarifa (%)	20,0
- Valor residual sin IVA (Euros)	21.000,00
<b>Financiación</b>	
% sobre el precio de adquisición	
Capital a financiar	70,0 66.150,00
Periodo de financiación (años)	5,0
Interés anual de la financiación (%)	1,820

Figura 19. Costes fijos relativos a la cabeza tractora en Acotram

**Costes Fijos (2) (Vehículo Articulado de Carga General)**

**Cálculo Personalizado (16/11/2022)**

**Semirremolque o remolque**

Forma de adquisición  
 Compra  
 Otra forma (alquiler, ...)

**Amortización**

Valor de adquisición:

- Precio de tarifa sin IVA (Euros)
- Descuento sobre tarifa (%)
- Precio de adquisición sin IVA (Euros)

Vida útil (años)

Valor residual:

- Valor residual sobre precio de tarifa (%)
- Valor residual sin IVA (Euros)

**Financiación**

	% sobre el precio de adquisición	Euros
Capital a financiar	<input type="text" value="70,0"/>	<input type="text" value="21.000,00"/>
Periodo de financiación (años)	<input type="text" value="5,0"/>	
Interés anual de la financiación (%)	<input type="text" value="1,820"/>	

**Observatorio de Costes (31/10/2017)**

**Semirremolque o remolque**

Forma de adquisición  
 Compra  
 Otra forma (alquiler, ...)

**Amortización**

Valor de adquisición:

- Precio de tarifa sin IVA (Euros)
- Descuento sobre tarifa (%)
- Precio de adquisición sin IVA (Euros)

Vida útil (años)

Valor residual:

- Valor residual sobre precio de tarifa (%)
- Valor residual sin IVA (Euros)

**Financiación**

	% sobre el precio de adquisición	Euros
Capital a financiar	<input type="text" value="70,0"/>	<input type="text" value="23.582,43"/>
Periodo de financiación (años)	<input type="text" value="5,0"/>	
Interés anual de la financiación (%)	<input type="text" value="1,820"/>	

Figura 20. Costes fijos relativos al semirremolque en Acotram

**Costes Fijos (3) (Vehículo Articulado de Carga General)**

**Cálculo Personalizado (16/11/2022)**

**Personal**

Coste total anual del conductor, incluidos costes de empresa (Seguridad Social y otros)  Euros

Dietas y plus de actividad:  Desglosado  Total

- Dietas anuales:

- Dieta total diaria del conductor (Euros / día)
- Número de días con dieta al año
- Dieta total anual (Euros)

- Plus de actividad anual del conductor  Euros / km  Euros

- Dietas y plus de actividad anuales del conductor (Euros)

**Observatorio de Costes (31/10/2017)**

**Personal**

Coste total anual del conductor, incluidos costes de empresa (Seguridad Social y otros)  Euros

Dietas y plus de actividad:  Desglosado  Total

- Dietas anuales:

- Dieta total diaria del conductor (Euros / día)
- Número de días con dieta al año
- Dieta total anual (Euros)

- Plus de actividad anual del conductor  Euros / km  Euros

- Dietas y plus de actividad anuales del conductor (Euros)

Figura 21. Costes fijos relativos a personal en Acotram

Seguros		Costes anuales (Euros)
<input checked="" type="radio"/> Desglosado <input type="radio"/> Total		
- Responsabilidad civil del vehículo de tracción		2.532,96
- Responsabilidad civil del semirremolque o del remolque		722,60
- Responsabilidad civil de la mercancía		340,66
- Accidente del conductor		107,58
- Retirada del carné de conducir		116,54
- Seguro de la mercancía		600,65
- Daños propios (todo riesgo)		3.249,76
- Otros		
- Coste total anual		7.670,75

Figura 22. Costes fijos de seguros en Acotram

Costes Fiscales		Costes anuales (Euros)
<input checked="" type="radio"/> Desglosado <input type="radio"/> Total		
- Visados		31,96
- Inspección Técnica de Vehículos (I.T.V.)		91,29
- Impuesto de Actividades Económicas (I.A.E.) repercutible a este vehículo		437,29
- Impuesto de Vehículos de Tracción Mecánica (I.V.T.M.)		424,51
- Revisión tacógrafo		41,09
- Inspecciones A.T.P. (transporte de mercancías perecederas)		
- Inspecciones A.D.R. (transporte de mercancías peligrosas)		
- Otros		
- Coste total anual		1.026,14

Figura 23. Costes fijos fiscales en Acotram

- Costes variables:

Costes Variables (Vehículo Articulado de Carga General)			
Cálculo Personalizado (16/11/2022)		Observatorio de Costes (31/10/2017)	
<b>Carburante del vehículo de tracción</b>			
<b>Precio de adquisición</b>		<b>Precio de adquisición</b>	
- Precio del carburante con IVA	Euros / litro	- Precio del carburante con IVA	Euros / litro
- Descuento	%	- Descuento	%
- IVA aplicado al carburante		- IVA aplicado al carburante	
- Precio de adquisición sin IVA		- Precio de adquisición sin IVA	
Consumo medio del vehículo de tracción		Consumo medio del vehículo de tracción	
	litros / 100 km		litros / 100 km

Figura 24. Costes variables de consumo de combustible en Acotram

Neumáticos			
	Nº	Precio sin IVA de un neumático (Euros / unidad)	Duración media (km)
Direccionales	2	709,53	135.000
Motrices	2	709,53	135.000
Arrastre			
Semirremolque o remolque	6	709,53	135.000

Neumáticos			
	Nº	Precio sin IVA de un neumático (Euros / unidad)	Duración media (km)
Direccionales	2	709,53	135.000
Motrices	4	709,53	135.000
Arrastre			
Semirremolque o remolque	6	709,53	135.000

Mantenimiento y Reparaciones		
	Coste kilométrico sin IVA (Euros / km)	Coste anual sin IVA (Euros)
Mantenimiento	0,0196	2.940,00
Reparaciones	0,0347	5.205,00

Mantenimiento y Reparaciones		
	Coste kilométrico sin IVA (Euros / km)	Coste anual sin IVA (Euros)
Mantenimiento	0,0196	2.352,00
Reparaciones	0,0347	4.164,00

Figura 25. Costes de neumáticos y mantenimiento en Acotram

Rellenando todas estas pestañas, Acotram calcula el coste final y por kilómetro en su pestaña “Resultados”.

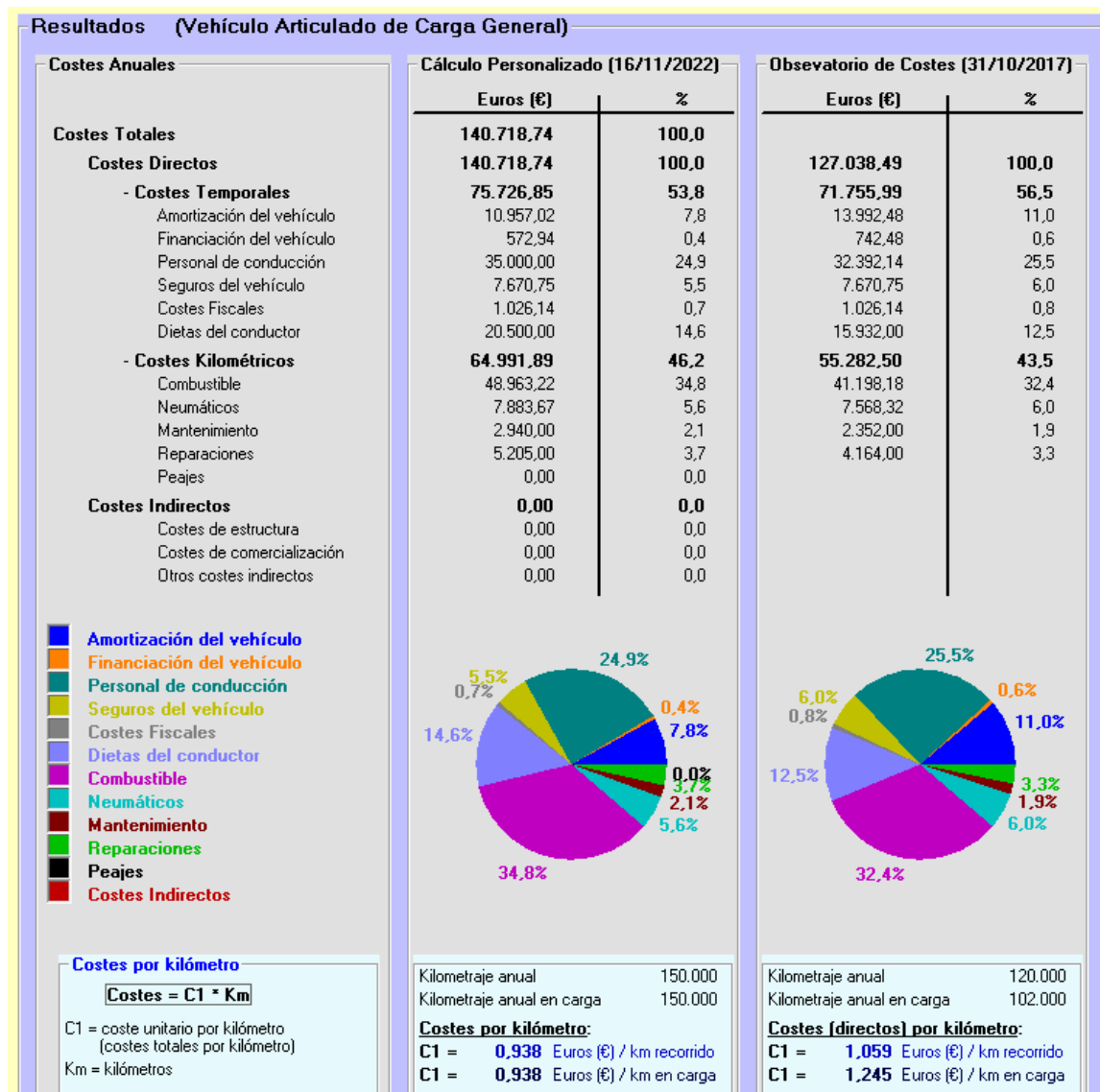


Figura 26. Ejemplo de resultados obtenidos en Acotram

### ANEXO III. SIMULADOR DE CÁLCULO DE COSTES EN TRANSPORTE FERROVIARIO

En el último anexo, se va a ilustrar a través de imágenes como es el simulador del cálculo de costes por transporte ferroviario. Se mostrarán las tres pestañas de bases de datos y la pestaña de cálculo, en la que, seleccionando el tipo de carga y plataforma y el tipo de ruta a emplear, nos devuelve el coste por kilómetro final.

#### i. METADATOS\_ACARREO

En esta primera base de datos, encontramos los datos relevantes para el cálculo del acarreo. Además de los datos de consumo mencionados en el apartado HIPÓTESIS DE CÁLCULO Y ESTUDIOS PREVIOS mostrados en la Figura 10, encontramos los siguientes datos:

COSTES ACTUALES EN 2022			
	En surtidor (€/litro)	Descuento (€/litro)	Total
Precio del gasóleo	1,35	0,3	1,05

PERFIL DE LA EMPRESA DE ACARREO					
	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5
Productividad Anual	150.000				km/año
Jornadas laborales por conductor	250				días/año
Jornadas laborales por tractora	250				días/año

Figura 27. Precio de combustible y perfil de la empresa de acarreo

OBSERVATORIO DE COSTES 2017		
Visados:	31,96	€
ITV:	91,29	€
IAE:	437,29	€
IVTM:	424,51	€
Revisión Tacógrafo:	41,09	€
Total	1026,14	

COSTE DE MANTENIMIENTO (OBSERVATORIO DE COSTES 2017)		
	Conductor 2017	
Coste anual del conductor (incluida Seguridad Social y otros):	35.000	€
Responsabilidad Civil cabeza tractora:	2532,96	€
Accidente del conductor:	107,58	€
Retirada carné:	116,54	€
Responsabilidad Civil semirremolque:	722,6	€
Seguro mercancías:	600,65	€
Responsabilidad Civil mercancía:	340,66	€
Daños propios (todo riesgo):	3249,76	€
Dieta media	40	€/día
Plus de actividad	0,07	€/km

Figura 28. Costes de personal, seguros y fiscales según observatorio de costes de 2017

Los costes de las dos siguientes figuras, que son los de la cabeza tractora y los semirremolques, son los mismos que los empleados para el cálculo del transporte por carretera.

<b>Cabeza Tractora-</b>		
Potencia	420	kW
Masa Máxima Autotizada (MMA)	40000	kg
Carga Útil	25000	kg
Consumo	32,2	€
P.V.P (Sin IVA)	105000	
Descuento	0,9	%
Valor Residual	0,15	%
Vida Útil	8	años
préstamo para la compra del elemento (euros)	0,7	%
interés en tanto por uno (interés en % dividido por 100)	0,0182	%
periodo de financiación (años)	5	años
$j = (1+i)^n$	1,122495546	
Coste de mantenimiento (sin IVA):	0,0196	€
Coste de reparaciones (sin IVA):	0,0346	€
Precio neumaticos (p)	709,53	€
Número de neumaticos (n)	4	
Duración media del neumático (d)	135000	km

Figura 29. Costes de la cabeza tractora

	Remolque	Portavehiculos	Frigorífico	Tolva
Tara	9000	6000	9000	8500
P.V.P (Sin IVA)	30000	34000	40000	38000

<b>Todos</b>	
Descuento	0,9
Valor Residual	0,15
Vida Útil	10
préstamo para la compra del elemento (euros)	0,5
interés en tanto por uno (interés en % dividido por 100)	0,0182
periodo de financiación (años)	5
$j = (1+i)^n$	1,122495546
Coste de mantenimiento (sin IVA)	0,0196
Coste de reparaciones (sin IVA)	0,0346
Precio neumaticos (p)	709,53
Número de neumaticos (n)	6
Duración media del neumático (d)	135000

Figura 30. Costes según el tipo de semirremolque

## ii. METADATOS\_TRANSBORDO

La base de datos de la operación transbordo no se modificó, se empleó de partida la diseñada por el alumno en su tesis. Si bien sí que se aumentaron todos los tipos de coste un 10%.

Básicamente, en nuestro caso, solo tenemos los costes mencionados en la Tabla 10 del apartado HIPÓTESIS DE CÁLCULO Y ESTUDIOS PREVIOS.

iii. METADATOS\_FERROCARRIL

Además de los costes de los cánones y de los consumos ya mencionados y mostrados en las hipótesis de cálculo, en la base de datos del transporte ferrocarril tenemos los costes de combustible, el perfil de la empresa ferroviaria, el perfil del maquinista y el perfil de la locomotora y plataforma.

Se han utilizado como datos de partida los descritos por el alumno en su tesis. Se mostrarán en las imágenes adjuntadas a continuación.

<b>PRECIO DEL COMBUSTIBLE</b>		
<b>Suministro de combustible.</b>	<b>Unidad de facturación</b>	<b>Tarifa 2014</b>
Combustible	Litro	0,93 €
Coste de gestión (importe sobre el total de litros de producto suministrado)	Litro	0,02 €
Coste de dispensación	Litro	0,02 €
<b>Suministro de la corriente de tracción.</b>		
	<b>Unidad de facturación</b>	<b>Tarifa 2014</b>
Mercancías - trenes convencionales	Miles de TKB	2,898743 €
Mercancías - locomotoras aisladas	Miles de TKB	2,898743 €
Coste de gestión (importe sobre el total de Megavattios hora)	MWh	1,232€/MWh

Figura 31. Precio de combustible diésel y del suministro eléctrico

<b>PERFIL DE LAS EMPRESAS EEFF (DATOS DE REFERENCIA DE 2014)</b>	
	<b>EEFF-1</b>
<b>Productividad Anual Media</b>	500.000
<b>Productividad Anual Media- Locomotora</b>	100.000
<b>Productividad Anual Media- Locomotora</b>	250
<b>Productividad Anual Media- Plataforma</b>	40000
<b>Productividad Anual Media- Plataforma</b>	250
<b>Número de Locomotoras</b>	5
<b>Número de plataforma</b>	60

Figura 32. Perfil de la empresa ferroviaria

PERFIL DEL MAQUINISTA (DATOS DE REFERENCIA DE 2014)	
	<b>Renfe (VR)</b>
<b>Salario anual</b>	42.000
<b>Dietas y primas de producción</b>	6.000
<b>Compensaciones por excesos jornada</b>	5.000
<b>Formación y reconocimientos médicos</b>	18.000
<b>Seguros sociales</b>	6.000
<b>Manutención y hospedaje</b>	80
<b>Jornadas</b>	230
<b>Horas de conducción continua</b>	6
<b>Velocidad Media</b>	70
<b>Coefficiente de reducción</b>	0,5

Figura 33. Perfil del maquinista

El perfil de la locomotora es el mismo tanto si es traccionada eléctricamente como si es por combustible diésel, así simplificamos la base de cálculo.

PERFIL DE LA LOCOMOTORA	
	<b>Locomotora 1</b>
<b>Precio</b>	3000000,00
<b>Tipo de tracción</b>	Diesel
<b>Longitud</b>	20,00
<b>Valor Residual</b>	0,10
<b>Prestamo</b>	0,9
<b>i= interés en tanto por uno (interés en % dividido por 100)</b>	0,05
<b>n= periodo de financiación (años)</b>	12,00
<b>v= vida útil del elemento (años)</b>	25,00
<b>j= (1+i)<sup>n</sup></b>	1,80
<b>% de mantenimiento</b>	0,07

Figura 34. Perfil de la locomotora

PERFIL DE LA PLATAFORMA	
	<b>Plataforma 1</b>
Coste	120.000
Carga Media Maxima	58
Tara Media	21
Peso por eje	n/a
Capacidad en TEUs	100
Longitud entre topes (f)	19,9
Altura apoyo contenedores (h)	1,21
Empate (i)	14,6
Valor financiado	0,9
Valor residual	0,1
i= interés en tanto por uno (interés en % dividido por 100)	0,05
n= periodo de financiación (años)	12
v= vida útil del elemento (años)	25
$j = (1+i)^n$	1,80
% de mantenimiento	0,03

Figura 35. Perfil de la plataforma

Con todos estos datos, y el de las otras dos bases de datos, seleccionando en la pestaña de cálculo las plataformas y rutas que queremos estudiar, se calcula automáticamente el coste del transporte.

#### iv. CÁLCULO

Al igual que en el cálculo del consumo y coste de transporte por carretera, vamos a simular que vamos a calcular el coste de transporte ferroviario para la tura Zaragoza – Bilbao y para la carga general a peso.

Es importante mencionar que en esta pestaña, las casillas verdes son las que hay que rellenar/seleccionar, las amarillas las de cálculo automático y las rojas las de datos.

En primer lugar, hay que seleccionar el tipo de vehículo y su factor de aprovechamiento (en este caso 100% ya que va completamente cargado a la ida y a la vuelta.

DATOS DE LA MERCANCIA A TRANSPORTAR			
Peso de la carga paletizada	117.500	kg/semana	
Tipo de mercancía	Carga a peso y frigo		
Factor de aprovechamiento	100%	%	
Número de semanas	50		
Tipo de contenedor	Contenedor		
Tipo de contenedor	40"		
Carga Máxima	23.500	kg	
Tara	4.000	kg	
Peso Bruto Maximo	27.500	kg	
Contenedores a la semana	5,0	Unidad	
Peso medio de los contenedores	27.500	Kg	
Carga por contenedor	23.500	Kg	Contenedores
Exceso de Capacidad	0,00%	%	5,0
Defecto de Capacidad	0,00%	%	5,0

Figura 36. Datos de la mercancía seleccionados

Básicamente, seleccionamos el tipo de mercancía “Carga a peso” (si fuese carga a granel, seleccionaríamos “Granel”) y el tipo de contenedor “Contenedor” (si fuese carga a granel, seleccionaríamos “Tolva”). También, hay que indicar el factor aprovechamiento, si es 100% o 50% (vuelta en vacío).

Después, el perfil de la empresa de acarreo y el perfil del conductor. Serán constantes para todos los casos.

EMPRESA DE ACARREO EN ORIGEN					
PERFIL DE LA EMPRESA			PERFIL DEL CONDUCTOR		
<b>Empresa de Acarreo</b>	<b>Empresas</b>	<b>Empresas</b>	<b>Perfil del conductor</b>	<b>Conductor 2017</b>	
Producción Anual	150.000,00	Año	Coste anual del conductor (Incluye Seguridad Social y	60.000,00	€
Horarios laborales por conductor	230,00	diario	Responsabilidad Civil sobre tractora	2.392,98	€
Horarios laborales por tractora	250,00	diario	Accidente del conductor	107,54	€
Número de conductores	0,00	Unidad	Responsabilidad Civil sobre conductor	118,54	€
Número de tractoras	0,00	Unidad	Responsabilidad Civil sobre mercancía	722,89	€
Número de plataformas	0,00	Unidad	Seguro mercancía	950,89	€
Tractores	0,00	€	Responsabilidad Civil mercancía	346,68	€
Coste unitario	0,00	% Costes directos	Daños propios (solo riesgo)	0.200,76	€
Beneficio	0,00	% Costes totales	Datos extra	40,00	€/km
	0,00		Piso de seguridad	0,00	€/km
	0,00			0,00	€
	0,00			0,00	€
	0,00			0,00	€
			Coste por día	170,00	€/km
			Coste por día	0.04471017	€/km

Figura 37. Perfil de la empresa y del conductor de la operación de acarreo

El siguiente paso es seleccionar el tipo de cabeza tractora, la cual será también constante para todos los casos, y el tipo de plataforma. El tipo de plataforma sí que habrá que seleccionarlo según la carga (en este caso “Remolque”, si fuese carga a granel sería “Tolva”).

TRACTORAS			PLATAFORMA		
<b>Tipo de Cabeza</b>	<b>Cabeza Tractora 2014</b>	<b>Cabeza Tractora 2014</b>	<b>Tipo de Cabeza</b>	<b>Remolque</b>	<b>Tolva</b>
Accesorios	420	€	Tarifa	0.600,00	€
Masa Máxima Autorizada (MMA)	40000	kg	P.V.P (IVA IVA)	88.000,00	€
Carga (M)	25000	kg		0,00	€
Consumos	12,2	l/100 km		0,00	€
P.V.P (IVA IVA)	105000	€		0,00	€
	0	€		0,00	€
	0	€		0,00	€
	0	€		0,00	€
Deposición	3,8	%	Disminución	0,00	%
Coste Residual	6,13	%	Valor Residual	0,00	%
Vida útil	8	años	Vida útil	10,00	años
Costo para la compra del elemento (costo)	3,7	%	Costo para la compra del elemento (costo)	0,00	%
Costo por interés en % (costo) (por 100)	0,7183	%	Costo por interés en % (costo) (por 100)	0,00	%
período de financiación (años)	8	años	período de financiación (años)	5,00	años
$F = \frac{(n \cdot P \cdot i - j) - P}{i}$	3.12482346	€/km	$F = \frac{(n \cdot P \cdot i - j) - P}{i}$	1,12	€/km
Costo de mantenimiento (IVA IVA)	0,048	€/km	Costo de mantenimiento (IVA IVA)	0,00	€/km
Costo de reparaciones (IVA IVA)	0,048	€/km	Costo de reparaciones (IVA IVA)	0,00	€/km
Previsión mantenim.	708,51	€	Previsión mantenim.	708,51	€
Número de reparaciones (R)	8	Unidades	Número de reparaciones (R)	0,00	Unidades
Duración media del resultado (R)	11880	km	Duración media del resultado (R)	135.000,00	km
	0	€		0,00	€
	0	€		0,00	€
	0	€		0,00	€
	0	€		0,00	€
<b>Amortización total</b>	<b>0.400,50</b>	<b>€/km</b>	<b>Amortización total</b>	<b>3024,202</b>	<b>€/km</b>
Amortización por km	0,06	€/km	Amortización por km	0,02236180	€/km
Amortización por jornada	17,94	€/jornada	Amortización por jornada	7,297129	€/jornada
<b>Financiamiento total</b>	<b>-1.528,19</b>	<b>€/km</b>	<b>Financiamiento total</b>	<b>-340,172570</b>	<b>€/km</b>
Financiamiento por km	-0,01	€/km	Financiamiento por km	-0,00300330	€/km
Financiamiento por jornada	-6,00	€/jornada	Financiamiento por jornada	-0,99000000	€/jornada
Mantenimiento	2.860,00	€/km	Mantenimiento	0	€/km
Reparaciones	3.230,00	€/km	Reparaciones	10,00	€/km
Resultados	5.251,87	€/km	Resultados	4130,1	€/km
Resultados por km	0,01	€/km	Resultados por km	0,03033667	€/km

Figura 38. Perfil de la tractora y de la plataforma del acarreo

Por último, solo faltaría seleccionar el número de contenedores, los kilómetros de distancia que hay en la operación de acarreo (como hipótesis constante hemos decidido que sean 15 kms), si la carga es completa o media carga, el tipo de vía y la orografía (siempre suave en nuestro caso).

OPERACIÓN DE ACARREO				ETAPA DE ACARREO EN ORIGEN			
Combustible a transporte	25,8	Dólar		CARACTERÍSTICAS URBANAS			
Tipo de conductor	27	Tipo		Diferencia hasta Terminal			
Tipo de Operación	OPERACIÓN 1	Carga completa	No incluye el tiempo de acceso si el de despacho es mayor a 30 min	Tipo de vía			
Tipo de carga	1,00	Carga		Instabilidad Percibida de la vía			
Acceso en vacío	0,25	h		Factor de corrección			
Tiempo de carga conductor en vagón	0,90	h		Velocidad vacía			
Tiempo de transbordo en terminal	0,90	h		Pebón			
Número de días de obra	0,00	días		Orografía			
13	0,00			Carrilero cargado			
22	0,00			Carrilero vacío			
23	0,00			Precio carburante			
Tiempo de acceso Origen terminal	5,21	h					
Tiempo cargado (Carga y descarga)	1,43	h					
Tiempo (Carga y descarga y vacía en vacío)	1,67	h					
Tiempo total	22,00	h					
Tiempo conducción en vacío	4,67	h	La vuelta es vacío depende del número de vagones hasta el acceso				
Tiempo total de acceso con descargas	28,73	h					
Lanzamiento (Acceso en un L día)	1,81	Conductores					
Transbordos (Acceso en 2 días)	1,47	Conductores					
Km totales	206,75	km					
Km cargados	222,00	km					
Km vacío	11,75	km					

Figura 39. Datos base de la operación de acarreo

Rellenando todo esto, obtenemos ya el coste de la operación de acarreo. En este caso serían 218,88 €.

COSTES TOTALES DE LA OPERACIÓN DE ACARREO			
	Coste Cargado	Coste Vacío	Coste total
<b>Energía</b>			
Cargado	77,963	9,214	87,176
<b>Personal</b>			
Conductor	64,006	9,601	73,607
<b>Dieta</b>			
<b>Amortización</b>			
Tractora	14,233	2,135	16,368
Remolque	2,736	0,410	3,147
<b>Financiero</b>			
Tractora	-2,289	-0,343	-2,633
Remolque	-0,374	-0,056	-0,430
<b>Mantenimiento</b>			
Tractora	4,410	0,662	5,072
Remolque	4,410	0,662	5,072
<b>Reparación</b>			
Tractora	7,785	1,168	8,953
Remolque	7,785	1,168	8,953
<b>Neumáticos</b>			
Tractora	4,730	0,710	5,440
Remolque	7,095	1,064	8,160
<b>Peajes</b>			
<b>Impuestos indirectos</b>			
<b>Beneficios</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>192,491</b>	<b>26,393</b>	<b>218,884</b>

Figura 40. Coste final de la operación de acarreo para Zaragoza – Bilbao y carga general a peso

El siguiente paso es calcular los costes de la operación de transbordo. Como bien se ha explicado anteriormente, estos van a ser constantes y únicamente constan de dos componentes, las operaciones de acceso y expedición y la manipulación. Solo habría que seleccionar el Modelo B.

TERMINAL ORIGEN			
PERFIL DE LA TERMINAL		OPERACIÓN DE TRANSBORDO	
Titularidad	ADP	Operación en terminal	Transbordo 1
Modalidad	ADP Modelo B		
Operaciones sobre el material asociadas al acceso o expedición de trenes	40,12 €	SC 3	2
Manipulación de unidades de transporte intermodal	28,70 €	SC 4	13
	CTI, acceso B y 2 días de reposo por la limitación		

Figura 41. Costes base del modelo B de la operación de transbordo

El coste final, entonces, de la operación de transbordo sería: 451,61 €.

COSTES TOTALES DE LA OPERACIÓN DE TRANSBORDO	
	Coste
<b>Operaciones sobre el material asociadas</b>	<b>81,180</b>
<b>Coste de carga /descarga</b>	<b>370,425</b>
<b>Otros costes</b>	
<b>Otros costes</b>	
<b>Otros costes</b>	
<b>Total</b>	<b>451,605</b>

Figura 42. Coste final de la operación de transbordo

Por último, ya solo quedaría la operación de transporte ferroviario. En este caso, todos los datos de partida permanecen constantes para todos los casos exceptuando el consumo y la distancia. Así pues, solo habría que cambiar la casilla de la ruta y de la distancia.

Empezaríamos con el perfil de la empresa ferroviaria y del maquinista, como hemos dicho es igual para todos los caso, por lo que las casillas verdes no habrá que cambiarlas en ningún momento.

PERFIL DE LA EMPRESA FERROVIARIA			PERSONAL		
Valor de Inicio Anual	30,2 millones km/Tran. año		Análisis de EPT	Análisis 10%	
Categoría Anual	33.220,00	€/año	Salario anual	42.000,00	€
Perfil de la EPT	EPT-5		Dietas y primas de producción	4.000,00	€
Producción Anual Media	300.000,00	km	Compensaciones por exceso jornada	3.000,00	€
Producción Anual Media - Locomotoras	100.000,00	km - Locomotoras	Formación y recuperación médicos	10.000,00	€
Producción Anual Media - Locomotoras	250,00	€/km - Locomotoras	Seguros sociales	4.000,00	€
Producción Anual Media - Plataformas	40.000,00	km - Plataformas	Mantenimiento y reparación	30,00	€
Producción Anual Media - Plataformas	200,00	€/km - Plataformas	Mantenimiento - Ferrocarril	230,00	€/km
Número de Locomotoras	3,00	unidad	Wages de conducción conductores	6,00	h
Número de plataformas	80,00	unidad	Velocidad Media	70,00	km/h
Impuestos	0,00	€	Coeficiente de rotación	0,50	h/a
Costes indirectos	0,00	h/a	CI	0,00	
Margen de beneficios	0,00	h/a	CI	0,00	
CI	0,00		CI	0,00	
CI	0,00		CI	0,00	
CI	0,00		Producción del Maquinista	40.000,00	€/año
Coste gestión de recursos / km	0,01	€/km	Coste Maquinista / año	17.000,00	€/año
			Coste Maquinista / km	1,50	€/km

Figura 43. Perfil de la empresa ferroviaria y perfil del maquinista

Después, habría que seleccionar el perfil de la locomotora y el perfil de la plataforma portacontenedores. También serán constantes para todos los casos, menos para la ruta Zaragoza – Valencia que habría que simplemente seleccionar la locomotora diésel (únicamente cambiaría automáticamente la casilla amarilla de precio energético situada abajo a la izquierda).



COSTES TOTALES DE LA OPERACIÓN TRANSPORTE FERROVIARIO	
	Coste
Canon de acceso	9,34
Canon de reserva de capacidad	202,9371
Canon de circulación	178,015
<b>Energía</b>	
Combustible	1323,59
Consumo eléctrico	32,11
<b>Personal</b>	
Conductor	567,584
Dietas	
<b>Amortización</b>	
Tractora	384,512
Remolque	38,451
<b>Financiero</b>	
Tractora	136,081
Remolque	517,107
<b>Mantenimiento</b>	
Tractora	14,241
Remolque	10,681
<b>TOTAL</b>	<b>3414,652501</b>

Figura 46. Coste de la operación de transporte ferroviario para Zaragoza – Bilbao y carga general a peso

Finalmente, quedaría el último paso. Habría que sumar el coste de la operación de transporte ferroviario junto a dos veces el coste de transbordo y dos veces el coste de acarreo (se producen dos transbordos y dos acarreos, uno en origen y otro en destino. Y este valor, dividirlo por la distancia entre origen y destino y el número de contenedores, para así obtener el valor en euros por kilómetro y por unidad de contenedor.

En este caso obtendríamos: 0,890 €/km.

Coste total / km	Coste / km - ud. Contenedor
13,36	0,890

Figura 47. Coste final por kilómetro para la ruta Zaragoza – Bilbao y carga general a peso