

Trabajo Fin de Máster

Desarrollo de una herramienta para la selección del transporte de mercancías por carretera en función de los costes de consumo

Development of a tool for selecting road freight transport based on consumption costs

Autor

Eduardo Molina Martín

Director

Emilio Larrodé Pellicer

Titulación del autor

Grado en Tecnologías Industriales

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza
2023/2024

RESUMEN

El Trabajo Fin de Máster que se ha desarrollado consiste en la definición de una herramienta para la selección del transporte por mercancías por carretera en función de los costes de consumo. Donde se valoran diferentes configuraciones de sistemas de propulsión de vehículos industriales pesados, a lo largo de rutas con perfiles diferentes y con varias configuraciones de carga útil transportada. Dicho análisis permite conocer los consumos para cada configuración, permitiendo calcular las emisiones generadas y finalmente conocer el coste económico de cada una de las configuraciones de los sistemas de propulsión.

Para desarrollar la herramienta y poder analizar el consumo, las emisiones y los costes económicos, de cara a obtener información para seleccionar un tipo de configuración, se definen varios escenarios con situaciones muy diferentes. Permitiendo obtener unos resultados y unas conclusiones sobre ellos.

Dada la importancia de los costes en el transporte de mercancías por carretera que supone para las diferentes empresas de transporte, junto con la entrada en vigor de diferentes regulaciones en cuanto a emisiones en años futuros y añadiendo el estado inestable del mercado de los combustibles, dónde los precios se encuentran en constante cambio promovido por las decisiones geopolíticas en el mundo, ha motivado así a diferentes empresas del mundo del transporte por carretera a buscar distintas soluciones, en este caso, dedicando más recursos a la implementación de combustibles renovables y más económicos en las diferentes rutas de transporte por carretera.

Por lo que con este trabajo se pretende definir una herramienta que valore esas configuraciones de los sistemas de propulsión que generan una huella de carbono menor y son más económicos para poder mostrar una información que permita poder tomar decisiones y hacer predicciones sobre el transporte de mercancías a realizar.

Abstract

The Final Master's Project that has been developed consists of the definition of a tool for the selection of road freight transport based on consumption costs. Different configurations of heavy industrial vehicle propulsion systems are evaluated along routes with different profiles and with various configurations of payload transported. This analysis allows us to know the consumption for each configuration, allowing us to calculate the emissions generated and finally to know the economic cost of each of the configurations of the propulsion systems.

In order to develop the tool and be able to analyse consumption, emissions and economic costs, with a view to obtaining information to select a type of configuration, several scenarios with very different situations are defined. This allows us to obtain some results and conclusions about them.

The costs important of road freight transport for the different transport companies, together with the entry into force of different regulations regarding emissions in future years and adding the unstable state of the fuel market, where prices are constantly changing due to geopolitical decisions in the world, has motivated different companies in the world of road transport to seek different solutions, in this case, devoting more resources to the implementation of renewable and more economical fuels in the different road transport routes.

Therefore, the aim of this work is to define a tool that assesses these configurations of propulsion systems that generate a smaller carbon footprint and are more economical to show information that allows decisions to be made and predictions to be made about the transport of goods to be carried out.

Índice

Capítulo 1:	Objeto, alcance y justificación	11
1.1	Objeto	11
1.2	Alcance.....	11
1.3	Justificación	12
Capítulo 2:	Introducción	15
2.1	Antecedentes.....	15
2.2	Motor Térmico.....	18
2.2.1	Diésel	18
2.2.2	Biodiésel	20
2.2.3	Aceite Vegetal Hidrotratado (Hydrotreated Vegetable Oil).....	23
2.2.4	Gas Licuado del Petróleo (GLP)	24
2.2.5	Gas Natural Vehicular (GNV)	26
2.2.6	Hidrógeno	27
2.2.7	Propiedades	29
2.3	Propulsión Eléctrica	31
2.3.1	Camión eléctrico	32
2.4	Flotas	36
Capítulo 3:	Descripción y planteamiento del trabajo	37
3.1	Obtención de los datos.....	39
3.1.1	Ruta.....	40
3.1.2	Datos Meteorológicos	42
3.1.3	Viento	44
3.1.4	Precipitaciones	45
3.1.5	Temperatura	45
Capítulo 4:	Desarrollo teórico y validación	45
4.1	Cálculo teórico	45
4.2	Consumo real.....	50
4.3	Análisis de los resultados.....	51
Capítulo 5:	Definición y desarrollo de los casos de estudio.	52
5.1	Rutas	53
5.1.1	Zaragoza - Madrid.....	54
5.1.2	Valencia – Barcelona	55
5.2	Datos meteorológicos.....	56

5.3	Casos de estudio	56
5.3.1	Combustible.....	58
5.3.2	Propulsión eléctrica	61
5.4	Análisis de emisiones.....	63
5.5	Análisis económico	65
5.6	Definición de escenarios.....	71
5.6.1	Escenario 1.....	72
5.6.2	Escenario 2.....	77
5.6.3	Escenario 3.....	82
5.6.4	Escenario 4.....	87
5.6.5	Escenario 5.....	91
5.6.6	Escenario 6.....	96
Capítulo 6:	Presentación de los resultados.....	101
Capítulo 7:	Presentación de las conclusiones y acciones futuras.....	102
7.1	Conclusiones.....	102
7.2	Líneas futuras de actuación.....	102
Capítulo 8:	Bibliografía.....	103

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Evolución del precio medio (€/L) de Diesel y Gasolina en España.	13
Ilustración 2: Evolución del precio (€/L) del GLP frente al Diésel y Gasolina	13
Ilustración 3: Evolución del precio (€/kg) de hidrógeno Fuente: Elaboración propia	14
Ilustración 4: Evolución del precio (€/kWh) del Gas en España	14
Ilustración 5: Evolución del precio (€/MWh) de la luz en España	14
Ilustración 6: Evolución del transporte de mercancías por carretera por ámbito nacional. Fuente: Elaboración propia	16
Ilustración 7: Evolución del transporte de mercancías por carretera por ámbito nacional e internacional	16
Ilustración 8: Evolución de las emisiones de GEI para la carretera en pauta no urbana	17
Ilustración 9: Configuración camión con motor de combustión de hidrógeno. Fuente: www.hibridosyelectricos.com.....	29
Ilustración 10: Configuración camión eléctrico con baterías. Fuente: www.solocamion.es.....	32
Ilustración 11: Cadena de transmisión de la energía en propulsión eléctrica por baterías. Fuente: Elaboración propia	33
Ilustración 12: Cadena de transmisión de la energía en propulsión eléctrica por baterías. Fuente: Elaboración propia	34
Ilustración 13: Configuración camión eléctrico con pila de combustible de hidrógeno. Fuente: www.hibridosyelectricos.com	35
Ilustración 15: Edad media de la flota de camiones en España.	36
Ilustración 16: Porcentaje según motorización de la flota de camiones en España:	37
Ilustración 17: Camión articulado de 40 toneladas. Fuente: Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible	38
Ilustración 18: Área frontal camión	38
Ilustración 19: Ruta Burgo de Ebro (Zaragoza) - Silla (Valencia): Elaboración propia con My Google Maps	40
Ilustración 20: Perfil de la ruta (datos: CANBUS). Fuente: Elaboración propia.....	41
Ilustración 21: Perfil de la ruta. Fuente: Elaboración propia con Google Earth Pro	41
Ilustración 22: Variación del coeficiente de rodadura en neumáticos radiales y diagonales en función de la velocidad.....	47
Ilustración 23: Recorrido Zaragoza - Madrid. Fuente: My Google Maps.....	54
Ilustración 24: Perfil elevación Zaragoza-Madrid. Fuente: Elaboración propia.....	54
Ilustración 25: Recorrido Valencia - Barcelona. Fuente: My Google Maps.....	55
Ilustración 26: Perfil elevación Valencia-Barcelona. Fuente: Elaboración propia.....	56

Índice de gráficas

Gráfica 1. Consumo [lcombustible/100km] Ruta: Zaragoza-Madrid.....	58
Gráfica 2. Consumo [kgcombustible/100 km] Ruta: Zaragoza-Madrid.....	59
Gráfica 3. Consumo [lcombustible/100km] Ruta: Valencia – Barcelona	60
Gráfica 4. Consumo [kg combustible/100km] Ruta: Valencia – Barcelona	60
Gráfica 5. Consumo de los litros de combustible a los cien kilómetros. Escenario 1.	73
Gráfica 6. Consumo de los kilogramos de combustible a los cien kilómetros. Escenario 1.	73
Gráfica 7. Emisiones. Escenario 1.	74
Gráfica 8. Coste del trayecto. Escenario 1.	75
Gráfica 9. Coste por tonelada útil transportada.....	76
Gráfica 10. Consumo de los litros de combustible a los cien kilómetros. Escenario 2.	78
Gráfica 11. Consumo de kilogramos de combustible a los cien kilómetros. Escenario 2.....	78
Gráfica 12. Emisiones. Escenario 2.	79
Gráfica 13. Coste total del trayecto. Escenario 2.....	80
Gráfica 14. Coste por tonelada útil transportada [€/t]. Escenario. 2	81
Gráfica 15. Consumo de litros de combustible a los cien kilómetros. Escenario 3.	83

Gráfica 16. Consumo de kilogramos de combustible a los cien kilómetros. Escenario 3.....	83
Gráfica 17. Emisiones. Escenario 3.....	84
Gráfica 18. Coste total del trayecto. Escenario 3.....	86
Gráfica 19. Coste por tonelada útil transportada. Escenario 3.....	86
Gráfica 20. Consumo de litros de combustible a los cien kilómetros. Escenario 4.....	88
Gráfica 21. Consumo de kilos de combustible a los cien kilómetros. Escenario 4.....	88
Gráfica 22. Emisiones. Escenario 4.....	89
Gráfica 23. Coste total del trayecto. Escenario 4.....	90
Gráfica 24. Coste tonelada útil transportada. Escenario 4.....	90
Gráfica 25. Consumo de litros de combustible a los cien kilómetros. Escenario 5.....	92
Gráfica 26. Consumo de kilos de combustible a los cien kilómetros. Escenario 5.....	92
Gráfica 27. Emisiones. Escenario 5.....	93
Gráfica 28. Coste total del trayecto. Escenario 5.....	95
Gráfica 29. Coste tonelada útil transportada. Escenario 5.....	95
Gráfica 30. Consumo de litros de combustible a los cien kilómetros. Escenario 6.....	96
Gráfica 31. Consumo de kilogramos de combustible a los cien kilómetros. Escenario 6.....	97
Gráfica 32. Emisiones. Escenario 6.....	97
Gráfica 33. Coste total trayecto. Escenario 6.....	98
Gráfica 34. Coste por tonelada útil transportada. Escenario 6.....	99

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades combustibles. Fuente: Elaboración propia.....	30
Tabla 2. Densidad de energía volumétrica de los combustibles. Fuente: Elaboración propia.....	31
Tabla 3. rendimientos de la transmisión de energía en la propulsión eléctrica.....	36
Tabla 4. Estación climatológica de Quinto (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia.....	42
Tabla 5 Estación climatológica Zaragoza - Valdespartera (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia ..	43
Tabla 6 Estación climatológica Calamocha (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia.....	43
Tabla 7 Estación climatológica Teruel (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia.....	43
Tabla 8 Estación climatológica Segorbe (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia.....	43
Tabla 9 Estación climatológica Sagunto (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia.....	44
Tabla 10 Estación climatológica Valencia-Aeropuerto (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia.....	44
Tabla 11. Datos de cálculo para el diésel.....	50
Tabla 12. Datos teóricos ruta El Burgo de Ebro - Silla.....	50
Tabla 13. Datos reales ruta El Burgo de Ebro - Silla.....	51
Tabla 14. Error y variación del consumo teórico de litros a los cien kilómetros.....	51
Tabla 15. Error y variación del consumo teórico de litros.....	51
Tabla 16. Error y variación del consumo teórico de los litros por tonelada útil transportada.....	51
Tabla 17. Consumos resultantes de los combustibles. Ruta: Zaragoza - Madrid.....	58
Tabla 18 Consumos resultantes de los combustibles. Ruta: Valencia - Barcelona.....	59
Tabla 19Consumos resultantes de la propulsión eléctrica con baterías. Ruta: Zaragoza - Madrid.....	62
Tabla 20. Consumos resultantes de la propulsión eléctrica con pila de combustible. Ruta: Zaragoza - Madrid.....	62
Tabla 21. Consumos resultantes de la propulsión eléctrica con baterías. Ruta: Valencia - Barcelona.....	62
Tabla 22. Consumos resultantes de la propulsión eléctrica con pila de combustible. Ruta: Valencia - Barcelona.....	62
Tabla 23. Emisiones de CO ₂ . Ruta: Zaragoza - Madrid.....	64
Tabla 24. Emisiones de CO ₂ . Ruta: Valencia - Barcelona.....	64
Tabla 25. Costes de trayecto. Ruta: Zaragoza - Madrid.....	65
Tabla 26. Costes de trayecto. Ruta: Valencia - Barcelona.....	66
Tabla 27. Evolución de los costes de trayecto desde el 2020. Ruta: Zaragoza - Madrid.....	66
Tabla 28. Evolución de los costes de trayecto desde el 2020. Ruta: Valencia - Barcelona.....	67
Tabla 29. Costes de las toneladas de CO ₂ emitidas. Ruta: Zaragoza - Madrid.....	68
Tabla 30. Costes de las toneladas de CO ₂ emitidas. Ruta: Valencia - Barcelona.....	68
Tabla 31. Costes totales. Ruta: Zaragoza - Madrid.....	69
Tabla 32. Costes totales. Ruta: Valencia - Barcelona.....	70

Tabla 33. Resultado de los consumos. Escenario 1.....	72
Tabla 34. Resultado de las emisiones. Escenario 1.....	74
Tabla 35. Resultado de los costes. Escenario 1.....	75
Tabla 36. Resultado de los consumos. Escenario 2.....	77
Tabla 37. Resultado de las emisiones. Escenario 2.....	79
Tabla 38. Resultado de los costes. Escenario 2.....	80
Tabla 39. Resultado de los consumos. Escenario 3.....	82
Tabla 40. Resultado de las emisiones. Escenario 3.....	84
Tabla 41. Resultado de los costes. Escenario 3.....	85
Tabla 42. Resultado de los consumos. Escenario 4.....	87
Tabla 43. Resultado de las emisiones. Escenario 4.....	88
Tabla 44. Resultado de los costes. Escenario 4.....	89
Tabla 45. Resultado de los consumos. Escenario 5.....	91
Tabla 46. Resultado de las emisiones. Escenario 5.....	93
Tabla 47. Resultado de los costes. Escenario 5.....	94
Tabla 48. Configuración rutas y número de. transportes. Escenario 6.....	100
Tabla 49. Costes resultantes de la distribución asignada. Escenario 6.....	101

Lista de acrónimos

GEI	->	Gases de Efecto Invernadero
GNV	->	Gas Natural Vehicular
GLP	->	Gas Licuado del Petróleo
PCI	->	Poder Calorífico Inferior
ACPM	->	Aceite combustible Para Motores
GNC	->	Gas Natural Comprimido
GNL	->	Gas Natural Licuado
CCUS	->	Carbon Capture, Utilization and Storage
MITECO	->	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
TtW	->	Tank to Wheels
WtW	->	Well to wheels
BIO	->	Biodiésel
HVO	->	Hidrotreated Vegetable Oil
MMA	->	Masa Máxima Autorizada

Capítulo 1: Objeto, alcance y justificación

1.1 Objeto

El objeto de este Trabajo de Fin de Máster es desarrollar y validar una herramienta para comparar el coste de un transporte de mercancías en base al consumo de vehículos industriales pesados por carretera. Para ello se va a analizar el consumo y las emisiones por kilómetro y tonelada útil desplazada en varias rutas para diferentes configuraciones de sistemas de propulsión. A partir de las cuáles se calcula el consumo, dónde factores como la variación de altitud, la aerodinámica de la cabeza tractora, la carga útil transportada y la distancia recorrida van a tener su importancia para evaluar la operación de transporte. Por último, se evaluará desde el punto económico y medioambiental los diferentes resultados en función del sistema de propulsión para poder hacer predicciones mediante simulación de escenarios

1.2 Alcance

Los datos obtenidos de las rutas seleccionadas permiten realizar el cálculo del balance energético para cada una de las configuraciones de los sistemas de propulsión propuestos para vehículos industriales pesados para el transporte de mercancías. Siendo el alcance del trabajo el realizar el cálculo de cada una de las configuraciones de los sistemas de propulsión, en función del consumo, de las emisiones y del coste económico. Además de analizar los resultados obtenidos mediante una serie de escenarios en los que se estudian diferentes situaciones, de cara a obtener información suficiente de cara a la toma de decisiones para la selección del transporte de mercancías por carretera.

La memoria está estructurada en distintos capítulos, para poder llegar a evaluar la operación de transporte a través de la herramienta a desarrollar, desde el punto de vista del consumo, del coste económico y la afección medioambiental e incluso realizar predicciones mediante simulación de escenarios.

- Capítulo 1: Se establece la hipótesis de partida junto con el objeto y alcance.
- Capítulo 2: Estudios de los antecedentes y de los diferentes tipos de combustibles
- Capítulo 3: Descripción y planteamiento del Trabajo
- Capítulo 4: Descripción de la metodología utilizada
- Capítulo 5: Definición y desarrollo de los casos de estudios
- Capítulo 6: Presentación de los resultados
- Capítulo 7: Presentación de las conclusiones y acciones futuras
- Capítulo 8: Bibliografía

1.3 Justificación

Tras la publicación de la nueva directiva técnica ISO 14083 en 2023¹ sobre la cuantificación y notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), sumada a las actuales normativas europeas que fijan los objetivos de emisiones y sus respectivos créditos y deudas por el cumplimiento o no de los objetivos, junto con la aprobación de la nueva normativa Euro 7², que se prevé su entrada para el 2027 y define unos límites más estrictos en las emisiones de los vehículos pesados. Lo que supone un aliciente para la descarbonización de las empresas en la cadena de suministro y el uso de diferentes tipos de combustibles en función de la ruta a realizar y la carga a transportar.

Los combustibles como el gas natural vehicular (GNV), el gas licuado del petróleo (GLP) o el biodiésel son los que más influencia están teniendo a la hora de seleccionar una configuración del sistema de propulsión mediante motor térmico, debido a sus propiedades para el sistema de combustión y sus menores emisiones frente al diésel. Tampoco se puede dejar de lado, el sistema de propulsión eléctrico que con la mejora continua de la autonomía de las baterías junto con las nulas emisiones por trayecto

¹ Auditoría y certificación de sistema de gestión NQA (2023) *NACE LA ISO 14083:2023 – EMISIONES DERIVADAS DE LA CADENA DE TRANSPORTE* (mayo 2023) <https://www.nqa.com/es-es/resources/news/nace-la-iso-14084-2023-emisiones-derivadas-de-la-c> (mayo 2024)

² Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2023) *Euro 7: emisiones de turismos, furgonetas, autobuses y camiones* (octubre 2023) <https://esmovilidad.transportes.gob.es/noticias/euro-7-emisiones-de-turismos-furgonetas-autobuses-y-camiones> (mayo 2024)

supone una elección interesante y una posible alternativa a los sistemas de propulsión actuales.

Dentro de la propulsión eléctrica cabe destacar el uso del hidrógeno que a partir de pilas de combustibles es capaz de alimentar el motor eléctrico, generando como única emisión, vapor de agua. Colocándose como uno de los principales combustibles alternativos al diésel por su propiedades energéticas y medioambientales.

Por otro lado, es importante tener en cuenta el precio de los combustibles a la hora de tomar una decisión. Ya que desde 2020 los precios han variado de forma drástica por la pandemia sufrida mundialmente y si se suma la inestable situación geopolítica en el mundo se vuelve un factor aún más determinante de lo que era [Ver Ilustración 1, 2, 3, 4 y 5].

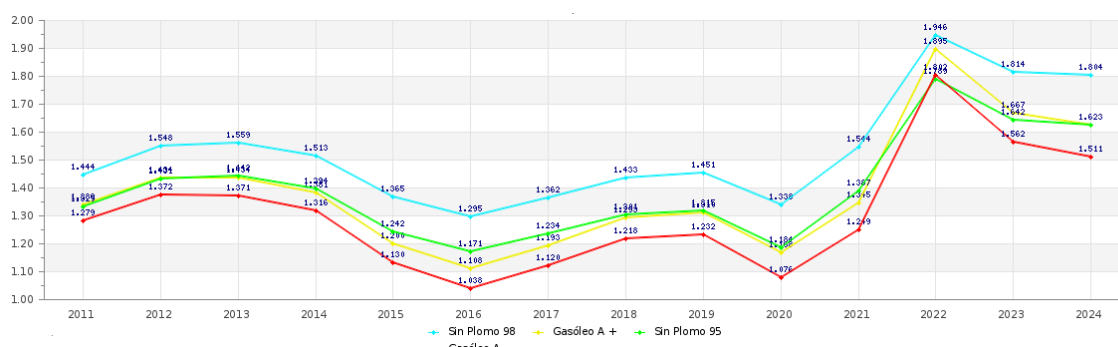


Ilustración 1: Evolución del precio medio (€/L) de Diesel y Gasolina en España. ³



Ilustración 2: Evolución del precio (€/L) del GLP frente al Diésel y Gasolina⁴

³ Diesel o gasolina. Histórico del precio de la gasolina y el diésel en ESPAÑA

<https://www.dieselogasolina.com/Estadisticas/Historico> (junio 2024)

⁴ myLPG.eu Gráfico de precios del combustible en España <https://www.mylpg.eu/es/estaciones/espana/precios/> (junio 2024)

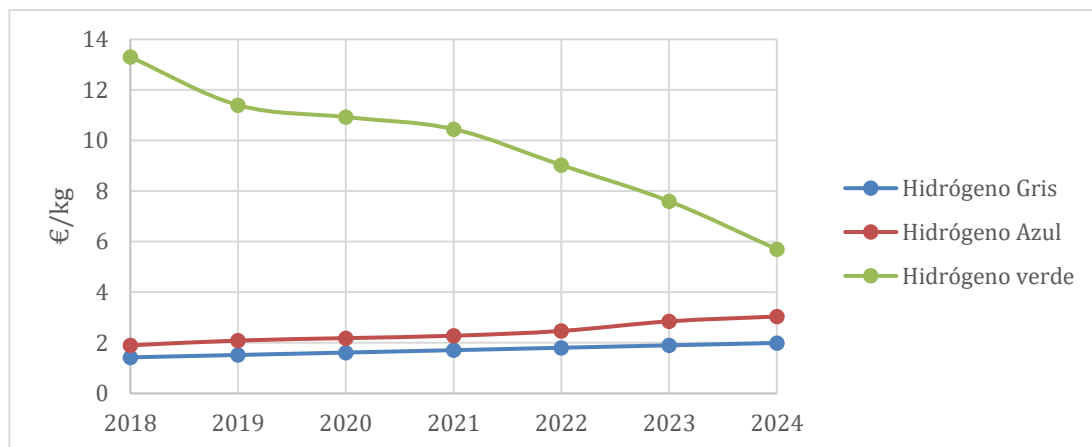


Ilustración 3. Evolución del precio (€/kg) de hidrógeno Fuente: Elaboración propia⁵

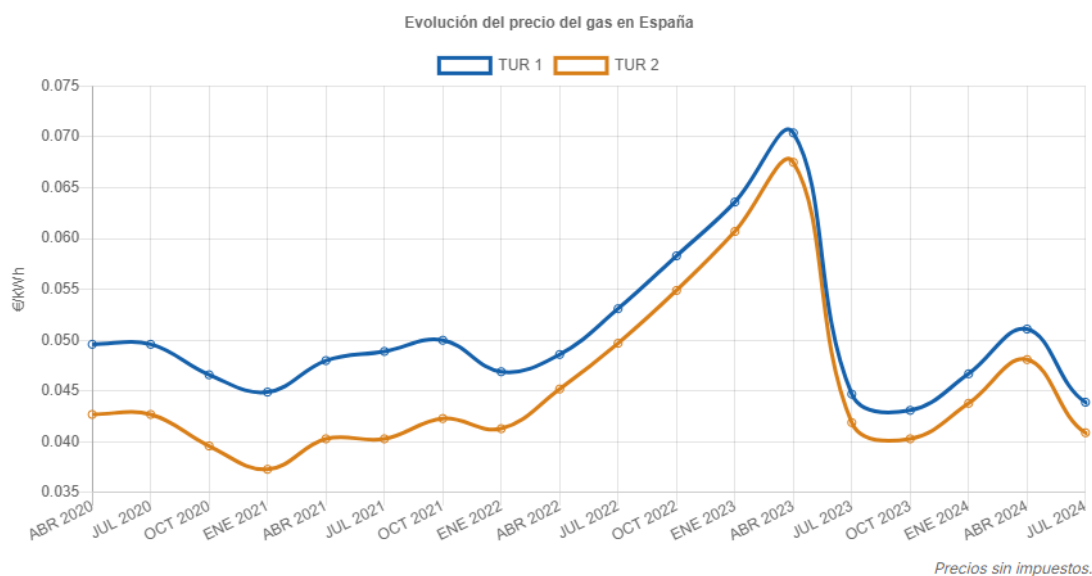


Ilustración 4: Evolución del precio (€/kWh) del Gas en España⁶

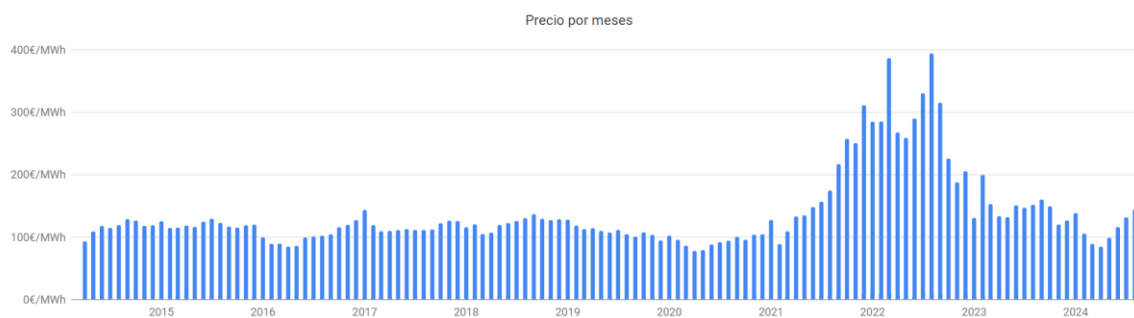


Ilustración 5: Evolución del precio (€/MWh) de la luz en España⁷

5 Hidrógeno verde. Precio del hidrógeno <https://hidrogeno-verde.es/precio-del-hidrogeno> (noviembre 2024)

6 Lahera, G. (20/09/2024) Precio del gas natural: Evolución en España y coste del m3. Selectra

<https://selectra.es/energia/info/que-es/precio-kwh-gas-natural> (octubre 2024)

7 Precio de la luz. Precio medio de la electricidad por meses. <https://preciodelaluz.com/precio-por-meses-total> (octubre 2024)

Dichos factores generan un gran interés en las empresas de transporte por cumplir con los límites de emisiones y por ahorrar o conseguir reducir costes en los diferentes trayectos de mercancías por carretera a realizar.

Capítulo 2: Introducción

Este Trabajo de Fin de Máster se va a centrar en desarrollar y validar una herramienta que compare el coste y las emisiones en base al consumo de vehículos industriales pesados de transporte de mercancías por carretera. Para ello se va a realizar el cálculo del balance de energía por cada ruta seleccionada para luego en función de las configuraciones de los sistemas de propulsión, obtener el consumo de cada una de ellas y finalmente calcular las emisiones y costes. De esta manera se genera una información que permite tomar decisiones sobre la configuración a elegir e incluso realizar predicciones simulando diferentes situaciones en escenarios determinados.

2.1 Antecedentes

Actualmente el transporte de mercancías por carretera tiene un gran peso en la economía, debido a la alta demanda de pedido que la sociedad genera. Ya que la evolución tecnológica, junto a diversos factores socioeconómicos, cómo puede ser la pandemia del COVID, han provocado un aumento considerable de transportes de mercancía por carretera. Esta alta demanda no sólo se refleja en el ámbito nacional sino también en el panorama internacional.

Tal y como muestran los informes de la Oficina Europea de Estadística (Eurostat) para España, en la que se observa un aumento del transporte terrestre de mercancías por carretera desde el año 2014. Salvando el año debido a la pandemia provocada por el COVID, hasta 2021, dónde en 2022 se observa una disminución con respecto a los valores de 2021 y 2007, siendo estos los valores más altos de toneladas-kilómetro transportadas.

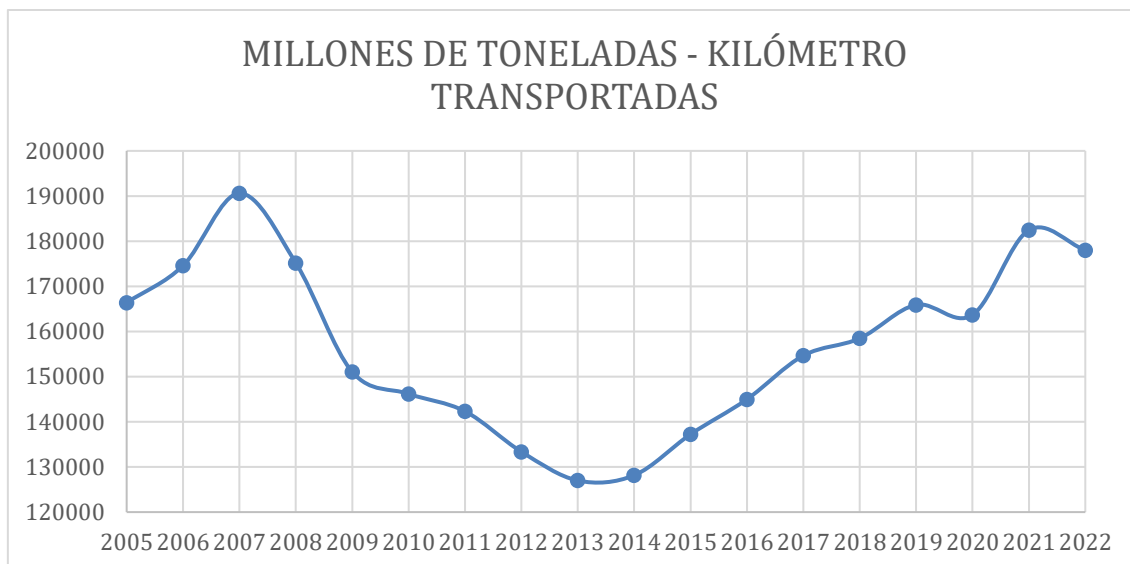


Ilustración 6. Evolución del transporte de mercancías por carretera por ámbito nacional. Fuente: Elaboración propia⁸

También, según el último informe del Observatorio de Transporte y la Logística en España (OTLE), se observa la misma tendencia que el descrito anteriormente, tanto a nivel nacional como internacional. Dado que también recoge datos del Eurostat junto con los datos de la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera del año 2023. (EPTMC).

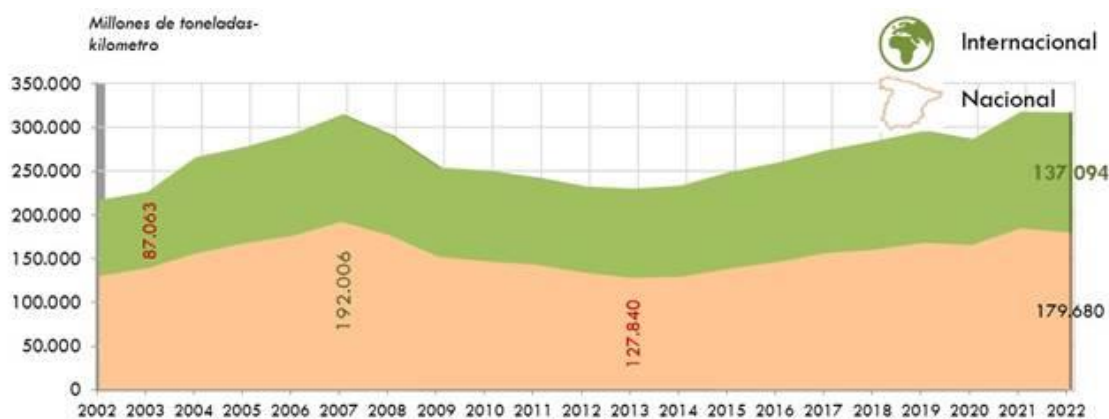


Ilustración 7. Evolución del transporte de mercancías por carretera por ámbito nacional e internacional⁹

Toda esta alta demanda y aumento de los transportes por carretera en el mundo, tiene como consecuencia un aumento del consumo de combustibles para poder realizar todos estos transportes. Tal y como se ha mencionado en el apartado 1.3 “Justificación”, la evolución de los precios no sigue una tendencia estable, sino que

⁸ Eurostat. Database <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> (octubre 2024)

⁹ Observatorio de transporte y la logística en España. (OTLE) Informe anual 2023. 2.2.4 Transporte de mercancías por carretera nacional e internacional. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> (octubre 2024)

está muy suscitada a los cambios que se producen y los escenarios que se generan, tanto socioeconómicos como geopolíticos, que ocurren en el mundo. Lo que da lugar a un constante cambio en la posible toma de decisiones del combustible a utilizar, lo cual se traduce de cara a las empresas de transporte a decidir que configuración de su flota utilizar.

A todo ello, se debe añadir que el aumento del transporte de mercancías da lugar a una serie de emisiones debido al consumo de combustibles.

En el OTLE muestran en su último informe las emisiones de gases de efecto invernadero en miles de toneladas de CO₂ equivalente. Dónde se observa que, aunque se han aumentado las toneladas por kilómetros desplazadas, la tendencia de las emisiones no es igual, sino que se reducen o aumentan de manera muy suave con respecto a años con menos miles de toneladas kilómetro desplazadas. Por lo que se podría indicar que se trata de una tendencia negativa.

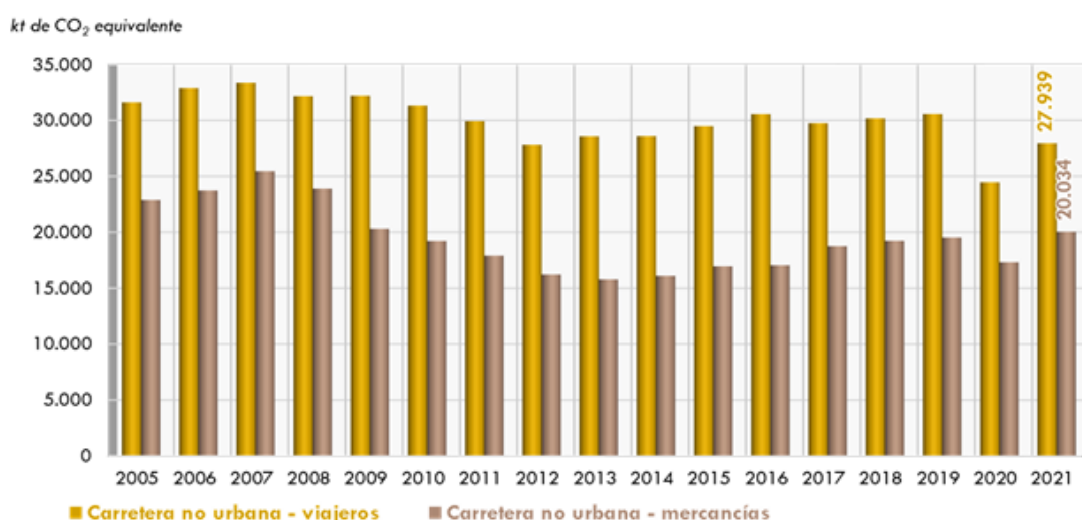


Ilustración 8. Evolución de las emisiones de GEI para la carretera en pauta no urbana¹⁰

Todo ello se debe a la constante evolución tecnológica en la mejora de la eficiencia de los motores y reducción del consumo específico de combustibles. Además de la mejora de los sistemas de reducción de contaminantes en los gases de escape y a la

¹⁰ Observatorio del transporte y la logística en España. (OTLE) Informe 2023. 5.2.1 Emisiones contaminantes del transporte. <https://otle.transportes.gob.es/inform/es/2023/5sostenibilidad-ambiental/52-emisiones-y-eficiencia-ambiental/521emisiones-contaminantes-del-transporte> (octubre 2024)

irrupción de combustibles alternativos al diésel que generan unas emisiones menores de contaminantes por unidad de energía.

Los datos mostrados anteriormente, junto con la introducción de nueva normativa y la nueva EURO 7, genera un escenario incierto para una empresa de transportes, dónde elegir el tipo de combustible para su nueva flota o la gestión de la flota actual en función de los cambios que se producen año a año, se convierta en una difícil tarea.

2.2 Motor Térmico

El Trabajo Final de Máster tiene en cuenta diferentes sistemas de propulsión que se están utilizando en la actualidad. Con la idea de establecer diferentes escenarios en los que poder evaluar en función del consumo, emisiones y coste que combustible es el idóneo para cada ruta y carga transportada.

A continuación, se presentan brevemente los combustibles para el sistema de propulsión mediante motor térmico que se han tenido en cuenta en el Trabajo Final de Máster. Su elección ha sido definida en función de la demanda actual por la implantación de nuevos combustibles alternativos al diésel.

En necesario indicar que el diésel es la configuración por excelencia en el transporte de mercancías y en otros sectores hasta hoy en día. Pero dada la sensibilidad que existe en el mundo actual de respetar el medio ambiente y reducir la huella de carbono de cara a las nuevas restricciones que se van a implantar en este caso, en el transporte de mercancías. Se van a proponer una serie de configuraciones alternativas al diésel y que presentan una serie de ventajas frente a él.

2.2.1 Diésel

Descripción

El diésel es un hidrocarburo líquido, compuesto principalmente por parafinas y utilizado en motores diésel. La composición de este derivado del petróleo es de un

75%¹¹ de hidrocarburos saturados aproximadamente, de los cuales la mayoría son parafinas incluyendo isoparafinas y cicloparafinas, y un 25% de hidrocarburos aromáticos, incluyendo naftalenos y alcatraces.

Tanto su punto de ebullición como su alta densidad (832kg/m^3)¹² y su poder calorífico inferior (PCI) (43000 kJ/kg)¹³ permiten que sea un combustible adecuado para el uso en motores de combustión interna. Aunque la eficiencia energética en el proceso de combustión no supere el 45%¹⁴ en condiciones óptimas. Por lo que se estima en este trabajo un rendimiento del motor (η_{MOTOR}) del 42% de cara a los cálculos a realizar.

Producción

La producción del diésel se obtiene a partir de la destilación y la purificación del petróleo crudo. El proceso consiste en introducir el petróleo en una torre de craqueo y calentarlo hasta su punto de ebullición. En ese momento los vapores generados se condensan y se separan los residuos para hacer grasas, aceites pesados o fibras textiles. Posteriormente se vuelven a calentar los vapores y de esta segunda destilación se obtiene el fueloil, a partir del cual se deriva el gasóleo. Cada proceso de destilación proporciona un hidrocarburo más ligero que el anterior de ahí que existan tres tipos de gasóleo.

Tipología

Estos tres tipos de este carburante se rigen en función de la calidad (valor del poder calorífico y densidad):

- Calidad A: Dentro de la calidad “A” existen dos subtipos de calidad “A”, los cuales son los que están permitidos para uso en automóviles y vehículos

¹¹ Castillo grupo. *Composición y características del gasóleo* (septiembre 2019). (Julio 2024)

¹² A.Dimitriadis (2018) *Evaluation of a Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and Effects on Emissions of a Passenger Car Diesel Engine*. (octubre 2024)

¹³ A.Dimitriadis (2018) *Evaluation of a Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and Effects on Emissions of a Passenger Car Diesel Engine*. (octubre 2024)

¹⁴ Plataforma e-educativa aragonesa

https://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4932/html/25_rendimiento_trmico.html#:~:text=Los%20motores%20Diesel%20alcanzan%20un,no%20alcanzando%20valores%20del%2035%25. (junio 2024)

pesados industriales en España. Se trata de la fórmula más refinada cuya mezcla cuenta con aditivos de mejor calidad.

- Calidad A: Es el conocido en las gasolineras como gasóleo A o diésel.
- Nueva calidad A: Es el conocido en gasolineras como diésel Prémium o diésel ⁺.
- Calidad B: Este tipo de carburante es el que se utiliza para usos agrícolas, pesqueros o industriales en España. Es un combustible que no está refinado y además contiene un alto porcentaje de parafina. Tiene un tipo de impuestos distinto, de ahí gasóleo B o Bonificado. Su uso en vehículos no agrícolas está prohibido y conlleva una correspondiente multa. Antiguamente se utilizaba en calefacciones, pero su uso en la actualidad no es rentable.
- Calidad C: Es un tipo de carburante que se utiliza para uso industrial, agua caliente o calefacción doméstica. Su uso en motores está desaconsejado a pesar de tener el poder calorífico y densidad más alto de los tres, pero su formulación no está pensada para los motores, pero sí en calderas, de ahí que su uso principal sea para la producción de calor. Ya que se trata del tipo menos refinado de los tres y con apenas aditivos.

Por norma general se añaden aditivos para mejorar las cualidades y prestaciones del combustible con la finalidad de que sean más eficientes, menos contaminantes y más estables químicamente.

Este tipo de combustible es también conocido como gasóleo, gasoil, diésel o aceite combustible para motores (ACPM).

2.2.2 Biodiésel

Descripción

El biodiésel se trata de un combustible renovable producido a partir de residuos orgánicos, agrícolas, forestales, aceites de cocina usados y otras materias orgánicas mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación.

Este combustible puede utilizarse en el mundo de la automoción en sustitución del gasóleo en una amplia variedad de vehículos de combustión, para reducir consumos y emisiones. También es posible su empleo para calefacción doméstica, en calderas específicas para biodiésel.

Producción

La producción de biodiésel se puede realizar a través de dos procesos químicos, la esterificación y la transesterificación.

La esterificación, es uno de los procesos de producción de biodiésel que consiste en obtener dicho combustible mediante un proceso químico en el que el aceite reacciona con un alcohol de bajo peso molecular (etanol y metanol son los más utilizados) en presencia de un catalizador, por lo general hidróxidos fuertes como el hidróxido de sodio (NaOH) o el hidróxido de potasio (KOH).

Por otro lado, existe la transesterificación o alcoholosis. Que es el proceso más común para producir biodiésel. Consiste en una reacción química catalizada entre los aceites vegetales o grasas y un alcohol, en este caso el más utilizado es el metanol. Generando los ésteres metílicos de los ácidos grasos que componen el biodiésel y obteniendo glicerina como subproducto.

Tipología

La tipología depende de la cantidad de biocombustible incluida en la composición de un combustible.

Para denominar a un tipo de biodiésel, se utiliza una nomenclatura compuesta por la letra B y un número que indica la proporción de biodiésel en la mezcla con diésel derivado del petróleo:

Por ejemplo:

- B2: Contiene un 2% de biocombustible.
- B100: Contiene un 100% de biocombustible.

El biodiésel puede clasificarse de diversas maneras, atendiendo a la materia prima con la que se elabora o al porcentaje de biocombustible que contiene.

En función de la materia prima se distinguen:

- Biodiésel a partir de aceites vegetales
 - Se elabora a partir del aceite extraído de plantas oleaginosas como la colza, el girasol, la palma, la soja y de plantas de origen marino como las algas.
- Biodiésel procedente de grasas animales
 - Se elabora a partir de los lípidos extraídos de las grasas de origen porcino, bovino o de aves.
- Biodiésel extraído de aceites de cocina usados
 - Se elabora a partir del aceite usado en los hogares negocios de hostelería o la industria agroalimentaria.

Ventajas

En este apartado se van a comparar las principales ventajas del biodiésel frente al diésel, las cuales son:

- Se trata de combustible que procede de materias primas vegetales. Las especies a partir de las que se genera pueden volver a cultivarse y, en el caso del biodiésel procedente de aceites usados, permite dar una nueva vida a los desechos, potenciando así la economía circular.
- Puede utilizarse en la mayoría de los motores diésel sin necesidad de que se realicen modificaciones mecánicas importantes.
- En cuanto a las emisiones de CO₂, SO₂ o CO son inferiores a las de otros carburantes.
- No contiene azufre, por lo que no emite este gas de efecto invernadero durante su combustión.
- Puede producirse de forma local, sin necesidad de depender de las importaciones.

- Permite el aprovechamiento del suelo con cultivos destinados a su producción, lo que a su vez reduce la erosión y la deforestación.

Para su uso en motores diésel es necesario sustituir los elementos de caucho natural por elastómeros sintéticos ya que el biodiésel lo descompone, sobre todo para mezclas de combustible con alto porcentaje de biogasóleo, además de las líneas de combustible y los inyectores.

Estas modificaciones se suelen realizar para mezclas a partir de B10, para mezclas inferiores no es necesario realizar ninguna modificación en el motor diésel.

Para este trabajo se va a utilizar la mezcla de biodiésel con diésel derivado del petróleo, conocida como B10. Se trata de un combustible con un porcentaje de 10% de biocombustible y 90% diésel. Donde su densidad es 840 kg/m^3 y su PCI 41380 kJ/kg ¹⁵. También se considera que el rendimiento de la combustión no es muy eficiente al igual que el diésel y al tener un valor menor de PCI, se estima un rendimiento (η_{MOTOR}) del proceso de combustión del 40%.

2.2.3 Aceite Vegetal Hidrotratado (Hydrotreated Vegetable Oil)

Descripción

El aceite vegetal hidrotratado se trata de un tipo de biocombustible de segunda generación, con una composición similar al diésel. Y su uso se puede realizar en motores diésel. Actualmente, el HVO se está utilizando cada vez más en el mundo del transporte de mercancías por carretera, debido a sus propiedades, a la reducción de emisiones que genera y a su precio.

Los biocombustibles de segunda generación se han desarrollado con el objetivo de acelerar la transición energética e impulsar la descarbonización de la industria y el transporte pesado. Donde las propiedades de densidad y PCI del HVO son 778.7 kg/m^3

¹⁵ Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). *Análisis de Ciclo de Vida de Combustibles Alternativos para el Transporte (2006)*. (octubre 2024)

y 44000 kJ/kg¹⁶ respectivamente. Para este tipo de combustible, al utilizarse en motores térmicos para diésel y tener una composición parecida a él, su rendimiento no será superior al 45%, por lo que se estima que su rendimiento (η_{MOTOR}) es del 42%.

Producción

La producción de aceite vegetal hidrotratado se produce mediante una reacción catalítica de aceites vegetales o grasas animales con hidrógeno, llamada hidrogenación catalítica. Este proceso consiste en mezclar los aceites vegetales o grasas con hidrógeno a alta presión y temperatura. Provocando la descomposición de los aceites y las grasas, eliminando las impurezas y saturando las moléculas de los ácidos grasos, transformándolas en hidrocarburos parafínicos. Es decir, en aceite vegetal hidrotratado (HVO).

Ventajas

La principal ventaja del aceite vegetal hidrotratado frente al diésel, es la disminución de las emisiones generadas en un alto porcentaje y que su composición es muy similar al diésel.

2.2.4 Gas Licuado del Petróleo (GLP)

Descripción

El GLP o gas licuado del petróleo, es una mezcla de hidrocarburos formada por propano y butano. Esta mezcla se encuentra en estado gaseoso a temperatura y presión atmosférica, pero tiene la propiedad de pasar a estado líquido cuando se les somete a bajas presiones. Dando lugar a un menor volumen de ocupación y facilitando así su transporte, almacenamiento y distribución. Este combustible también es conocido como Autogas.

Para cálculos técnicos se suele utilizar valores promedio de propano y butano. Para este trabajo se van a tomar como valores de densidad¹⁷, 560 kg/m³ y de PCI¹⁸, 47300 kJ/kg. Determinado un rendimiento (η_{MOTOR})¹⁹ del motor del 30%.

¹⁶ A.Dimitriadis (2018) *Evaluation of a Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and Effects on Emissions of a Passenger Car Diesel Engine*. (octubre 2024)

Producción

El gas licuado del petróleo puede obtenerse por dos vías:

- 60% de las veces se obtiene por separación de las fracciones de butano y propano en los yacimientos de gas natural, un procedimiento que se conoce como Upstream. Consiste en enfriar el gas natural para que el butano y el propano se condensen. Posteriormente, se someten a un proceso de destilación.
- El 40% restante proviene de la destilación del petróleo crudo en las refinerías, lo que se conoce como Downstream. Al calentarse el petróleo a altas temperaturas, comienza a separarse en sus componentes siendo los gases los primeros en llegar a desprenderse para extraídos y almacenados.

Tipología

El GLP se utiliza en la industria y en el transporte por sus ventajas económicas y ecológicas respecto a la gasolina y al diésel. Además, se puede utilizar este carburante en una gran variedad de medios de transporte, alimentando los motores con tecnología bi-fuel (gasolina y Autogas) para vehículos ligeros y comerciales o tecnología dual-fuel (Diesel y AutoGas) para vehículos pesados y furgonetas.

Ventajas

Las principales ventajas frente al diésel son:

- Un combustible limpio
 - Al usarlo se quema completamente, por lo que es muy eficiente y limpio.
- Respetuosos con el entorno
 - Las emisiones de partículas son casi nulas y reduce hasta un 50% los niveles de ruido.
- Mayor autonomía del vehículo

¹⁷ Wikipedia. *Gas Licuado del Petróleo* https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_petroleum_gas (octubre 2024)

¹⁸ Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) *Poderes caloríficos inferiores (Hoja Excel)* (octubre 2024)

¹⁹ Thermal Engineering *¿What is Thermal Efficiency of Heat Engines?* (2011) (octubre 2024)

- Un vehículo bi-fuel, al estar equipado con dos depósitos, puede duplicar su autonomía.

2.2.5 Gas Natural Vehicular (GNV)

Descripción

Las siglas GNV corresponden a Gas Natural Vehicular. Siendo este gas utilizado como combustible para vehículos de todo tipo. Desde Turismos, furgonetas y camiones a trenes, maquinaria industrial y barcos.

Producción

La obtención del GNV se realiza a través de un proceso llamado licuefacción. Este proceso se realiza en centrales específicas cerca de los yacimientos de Gas Natural. Y consiste en primer lugar en sanear el gas natural recién extraído de impurezas para después iniciar la etapa de transformación, enfriándolo para conseguir que pase a estado líquido. En este proceso se mezcla y comprime con otros gases como el metanol y el etanol a una temperatura de -162°C

Tipología

Dentro de este grupo se encuentra el Gas Natural Comprimido (GNC), el cual se encuentra almacenado a 200 y 250 bares, y el Gas Natural Licuado (GNL), el cual se encuentra almacenado en estado líquido a -162°C .

En cuanto al GNC, se puede obtener directamente comprimiendo Gas Natural o a través de bombear GNL hasta un vaporizador atmosférico para pasar de estado líquido a gaseoso, para posteriormente comprimirlo en torno a 200 – 250 bares de presión a temperatura ambiente. Obteniendo las siguientes propiedades de densidad²⁰ y PCI²¹, 158.49 kg/m^3 y 44200 kJ/ . Para el GNL los valores de densidad²² y PCI seleccionados son 431 kg/m^3 y 44200 kJ/kg . En cuanto al rendimiento (η_{MOTOR})²³ del proceso de combustión se estima en un 40%.

²⁰ Gasnam Neutral Transport *Tabla de equivalencias (Documento PDF)* (octubre 2024)

²¹ Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) *Poderes caloríficos inferiores (Hoja Excel)* (octubre 2024)

²² Gasnam Neutral Transport *Tabla de equivalencias (Documento PDF)* (octubre 2024)

²³ Gas Natural GNU *Comparativa de Costos: Gasolina vs Gas Natural Vehicular (2021)* (octubre 2024)

Ventajas

Las ventajas de este grupo frente al uso del diésel son:

- Se trata de unos combustibles más limpios, ya que se reducen las emisiones de partículas sólidas (96%) y de gases de efecto invernadero (monóxido de carbono (25%), dióxido de carbono, dióxido de azufre).
- Su uso da lugar a un funcionamiento más silencioso, ayudando a combatir la contaminación acústica con un 50% menos de emisión de ruidos que un motor convencional.
- Su precio es más barato, hoy en día es entorno a un 50% más barato que la gasolina.
- Permiten circular por cualquier zona en la que estén activados los protocolos de anticontaminación al contar con etiqueta ECO.

2.2.6 Hidrógeno

Descripción

El hidrógeno es uno de los elementos de la tabla periódica más comunes en la naturaleza, ya que se encuentra presente en el 70% del planeta. Pero no es una fuente de energía primaria, ya que no se puede consumir directamente el hidrógeno presente en el planeta como combustible, sino que es necesario realizar una serie de procesos para convertirlo en combustible.

Producción

El hidrógeno se puede conseguir de varias formas. La principal consiste en la quema de compuestos orgánicos constituidos principalmente por hidrógeno y carbono. Otra de las formas de obtener hidrógeno es a partir de la electrolisis. En este caso se utiliza electricidad obtenida a través de energías renovables, la cual se hace pasar a través de agua. Con este proceso se consigue la separación de las moléculas de agua (H_2O) en oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2).

Tipología

En función de la materia prima necesaria y de las emisiones de CO₂ generadas para su obtención, el hidrógeno es clasificado en los siguientes tipos:

- Hidrógeno renovable o hidrógeno verde
 - Es el hidrógeno generado a través del proceso de electrólisis. A partir de electricidad renovable y con la aportación como materia prima del agua. En esta tipología se puede incluir el hidrógeno generado a partir del reformado del biogás o la conversión bioquímica, siempre que se cumplan los requisitos de sostenibilidad establecidos.
- Hidrógeno gris o de altas emisiones
 - Es el hidrógeno producido a partir de gas natural u otros hidrocarburos ligeros como gases licuados del petróleo mediante procesos de reformado. Actualmente el mayor porcentaje de hidrógeno consumido en España es de este tipo.
- Hidrógeno azul o hidrógeno bajo en carbono
 - Este tipo de hidrógeno se produce de manera similar al hidrógeno gris, pero al que se le aplican técnicas de captura, uso y almacenamiento (CCUS). permitiendo reducir hasta en un 95% las emisiones de CO₂ generadas durante el proceso.

Ventajas

Las principales ventajas del hidrógeno son las siguientes:

- El contenido de energía por masa del hidrógeno es entorno hasta tres veces superior al de los combustibles líquidos basados en hidrocarburos.
- Se trata de un elemento abundante en el planeta.
- Su uso como combustible no genera GEI ya que sólo emiten vapor de agua como único residuo.
- Impulsa la economía circular al poder obtenerse como un reformado del biogás o a través de la conversión bioquímica favoreciendo el aprovechamiento de los residuos orgánicos.



Ilustración 9. Configuración camión con motor de combustión de hidrógeno. Fuente: www.hibridosyelectricos.com

Este tipo de combustible se encuentra en fase de pruebas y desarrollo en su uso como combustible de un motor térmico, pero de todas formas se incluye en el alcance del trabajo ya que se considera que puede ser uno de los posibles combustibles alternativos al diésel en un futuro. Es cierto que se necesita mejorar su sistema de almacenamiento ya que a día de hoy es una de las principales desventajas por lo que se ha propuesto llevar a estudio tanto la fase líquida como gaseosa.

Para llevar a cabo su estudio se toma 0.0899 kg/m^3 (gas) y 70.8 kg/m^3 (líquido) como densidad media²⁴ y 120000 kJ/kg como PCI²⁵. En cuanto a su rendimiento, dado que no se han podido obtener datos reales, se determina un rendimiento (η_{MOTOR}) algo inferior al del GNV. Por lo que se define un valor del 38%.

2.2.7 Propiedades

A continuación, se resumen las principales propiedades de cada uno de los combustibles descritos anteriormente, de cara a realizar los cálculos de consumo de cada uno de ellos. Dado que todos los combustibles se utilizan en un motor térmico, el

²⁴ Asociación Española del Hidrógeno (AEH2) *¿Cómo funciona el Hidrógeno como fuente de energía? - Propiedades del Hidrógeno (Tabla)* (noviembre 2024)

²⁵ Asociación Española del Hidrógeno (AEH2) *¿Cómo funciona el Hidrógeno como fuente de energía? - Propiedades del Hidrógeno (Tabla)* (noviembre 2024)

cuál va a generar una energía, y esa energía se transmite a las ruedas a través de una transmisión similar para cada configuración. Por lo que se define un valor del 90% para todas las configuraciones de cara a realizar los cálculos.

Tabla 1. Propiedades combustibles. Fuente: Elaboración propia

COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO [kJ/kg]	DENSIDAD [kg/m ³]	Rendimiento Motor [%]	Rendimiento transmisión [%]
DIÉSEL	43000	832	42	90
B10	41380	840	40	90
HVO	44000	778.7	42	90
GLP	47300	560	30	90
GNC	44200	158.49	40	90
GNL	44200	431	40	90
HIDRÓGENO (líquido)	120000	70.8	38	90
HIDRÓGENO (gas)	120000	0.0899	38	90

En la tabla, se observa como el hidrógeno tiene el mayor poder calorífico inferior frente al resto, mientras que el biodiésel (B10) tiene el menor valor. Por el contrario, es el combustible más denso, siendo el hidrógeno en fase gaseosa el de menor densidad. Lo cual se traduce en los siguientes resultados de la cantidad de energía por unidad de volumen cada uno de los combustibles.

Tal y como muestra la siguiente table, el hidrógeno a pesar de tener el poder calorífico inferior más elevado es el que menor densidad de energía volumétrica posee en fase gaseosa. Lo que quiere decir que, para un mismo volumen, es el combustible que menos energía posee. Siendo uno de los principales problemas del hidrógeno de cara a su uso. Por el contrario, el B10 es el que menos poder calorífico posee, pero al tener la mayor densidad, da lugar a que para un mismo volumen sea el combustible que más se acerca al diésel, al igual que el HVO que a diferencia del B10 no está producido a partir de diésel y genera menos emisiones.

Tabla 2. Densidad de energía volumétrica de los combustibles. Fuente: Elaboración propia

COMBUSTIBLE	DENSIDAD DE ENERGÍA VOLUMÉTRICA [MJ/ m ³]
DIÉSEL	35776
B10	34759.2
HVO	34262.8
GLP	26488
GNC	7005.258
GNL	19050.2
HIDRÓGENO (líquido)	8496
HIDRÓGENO (gas)	10.788

2.3 Propulsión Eléctrica

A día de hoy con la normativas vigentes y futuras sobre emisiones y la volatilidad de los precios de los combustibles, hacen que la opción eléctrica para las empresas que buscan reducir su impacto ambiental y ahorrar dinero en combustible, sea considerada.

El funcionamiento de un motor eléctrico es similar al de un motor diésel. En este caso el motor eléctrico está alimentado por una serie de baterías o pilas de combustible dónde a través de un proceso electroquímico se genera electricidad. Posteriormente el motor eléctrico alimenta al tren motriz, al igual que el motor diésel.

El desarrollo de la tecnología eléctrica permite obtener procesos más eficientes que los motores de propulsión interna y al tener una alimentación a través de baterías que se pueden cargar con electricidad de la red eléctrica de fuentes renovables de energía o a través de pilas de combustible de hidrógeno permite reducir las emisiones de CO₂ al planeta.

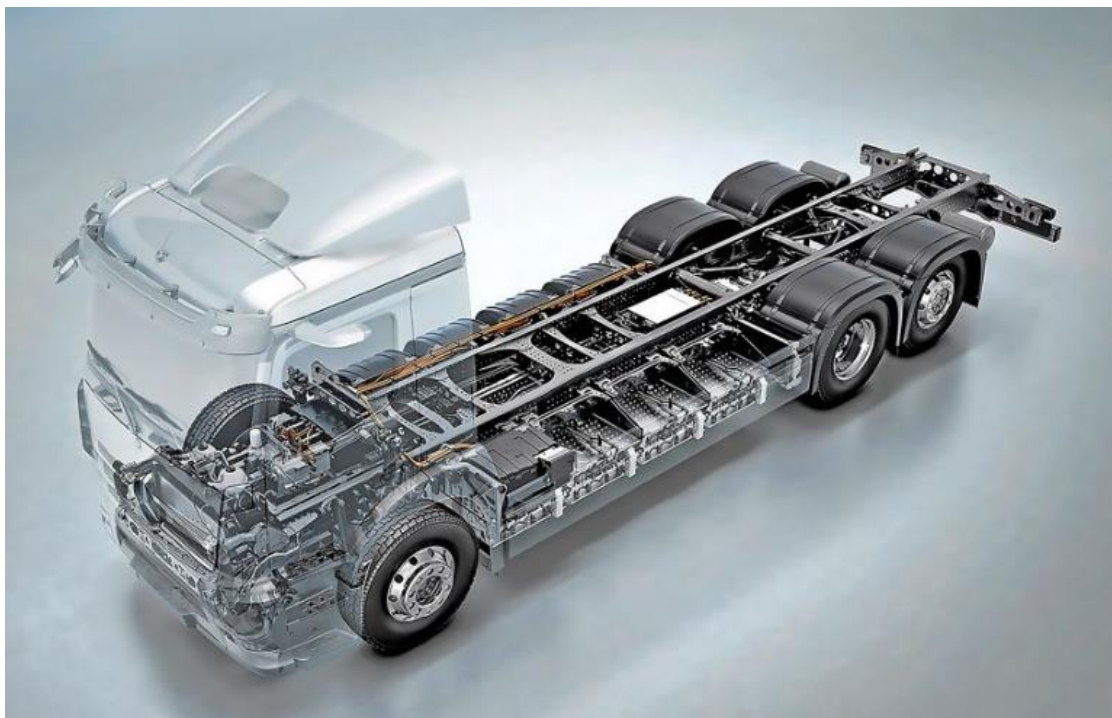


Ilustración 10: Configuración camión eléctrico con baterías. Fuente: www.solocamion.es

2.3.1 Camión eléctrico

Los principales componentes que se encuentra en un camión con propulsión eléctrica son los siguientes:

- Motor eléctrico
 - Es el componente que permite mover el tren motriz del camión. Suelen ser motores de inducción, utilizan un campo magnético para convertir la energía eléctrica en energía mecánica. Siendo estos motores muy eficientes y que no requieren mantenimiento.

Este motor eléctrico puede ir alimentado de dos maneras, a través de batería o de pilas de combustible

- Baterías
 - Son el componente que alimenta la energía obtenida a través de la red eléctrica o de fuentes de energía renovables. Principalmente las baterías de los camiones suelen ser de litio y tener una alta densidad de energía. Lo que permite almacenar mucha energía en un espacio pequeño, lo que también supone un gran peso adicional.

- A continuación, se puede observar los diferentes componentes generales que se van a tener en cuenta a la hora del cálculo y los rendimientos que aparecen en la cadena de transmisión de la energía.

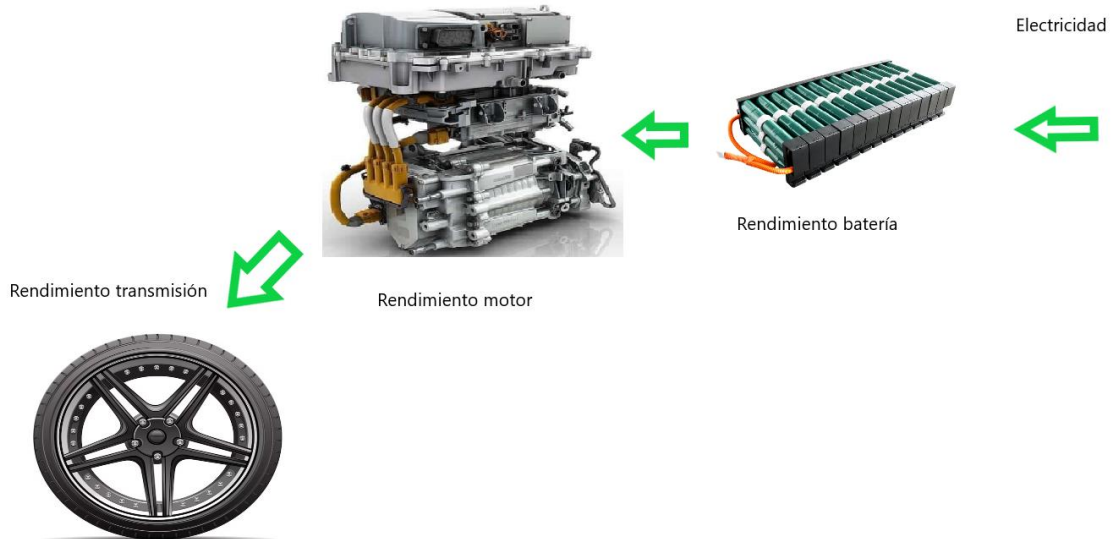


Ilustración 11. Cadena de transmisión de la energía en propulsión eléctrica por baterías. Fuente: Elaboración propia

- Pila de combustible

- A diferencia de las baterías, las pilas de combustible son cargadas a través de hidrógeno, el cuál puede provenir de fuentes de energía renovables (verde) o no (gris). Pero de igual manera necesita una batería para almacenar la energía producida en la pila de combustible, antes de alimentar al motor. En cuanto al peso que genera el sistema de pila de combustible es menor al de las baterías, en torno a unos 5000 kg ²⁶menos si estamos hablando de transportes de larga distancia (700km). En este tipo de configuración el hidrógeno se puede almacenar a 350 bar y 700 bar, aunque lo más estandarizado es a 350 bar.
- A continuación, se puede observar los diferentes componentes generales que se van a tener en cuenta a la hora del cálculo y los rendimientos que aparecen en la cadena de transmisión de la energía.

²⁶ Palencia, J. (2022) *Camiones de pila de combustible propulsados por H2: Tres Tecnologías*. SynerHy Hydrogen Experts. <https://synerhy.com/2022/02/camiones-de-pila-de-combustible-propulsados-por-h2-tres-tecnologias> (noviembre 2024)

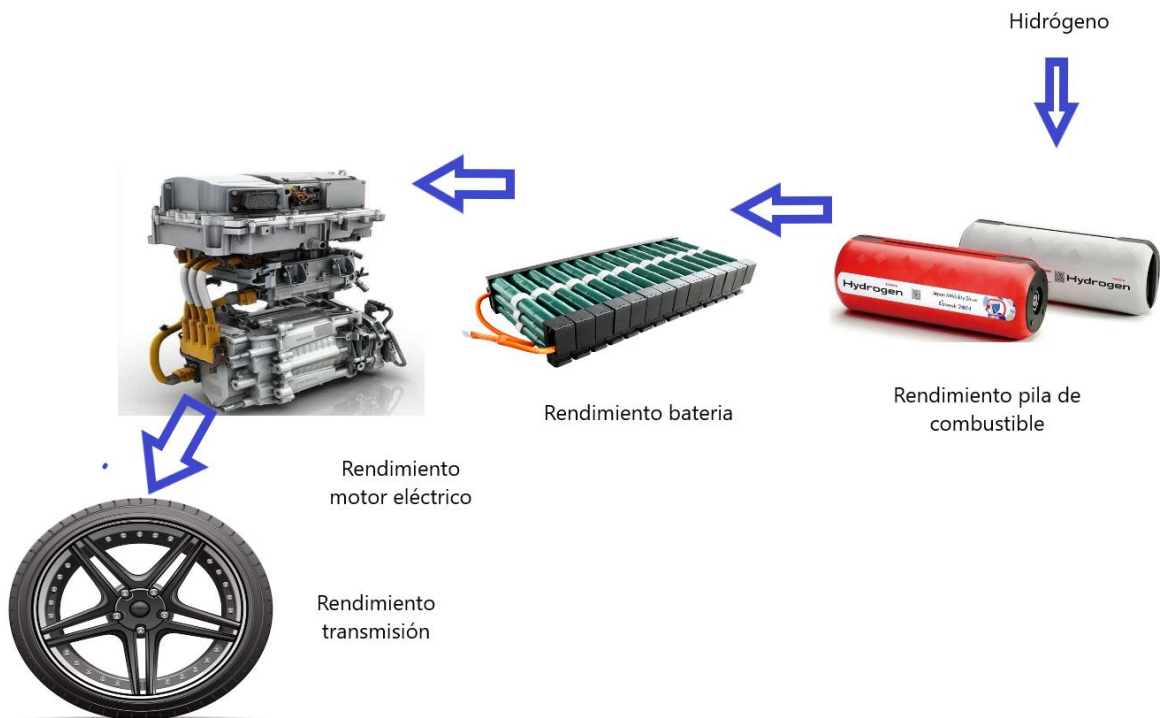


Ilustración 12. Cadena de transmisión de la energía en propulsión eléctrica por baterías. Fuente: Elaboración propia

Otros de los componentes que se encuentran en un camión eléctrico son los siguientes:

- Controlador.
 - Se encarga de controlar el flujo de corriente a los motores eléctrico. Es decir, garantiza la corriente necesaria al motor para que pueda funcionar de manera eficiente. Este componente utiliza transistores para controlar el flujo de corriente. Los transistores son componentes electrónicos que pueden activarse y desactivarse rápidamente, lo que permite al controlador controlar el flujo de corriente a los motores eléctricos con precisión.

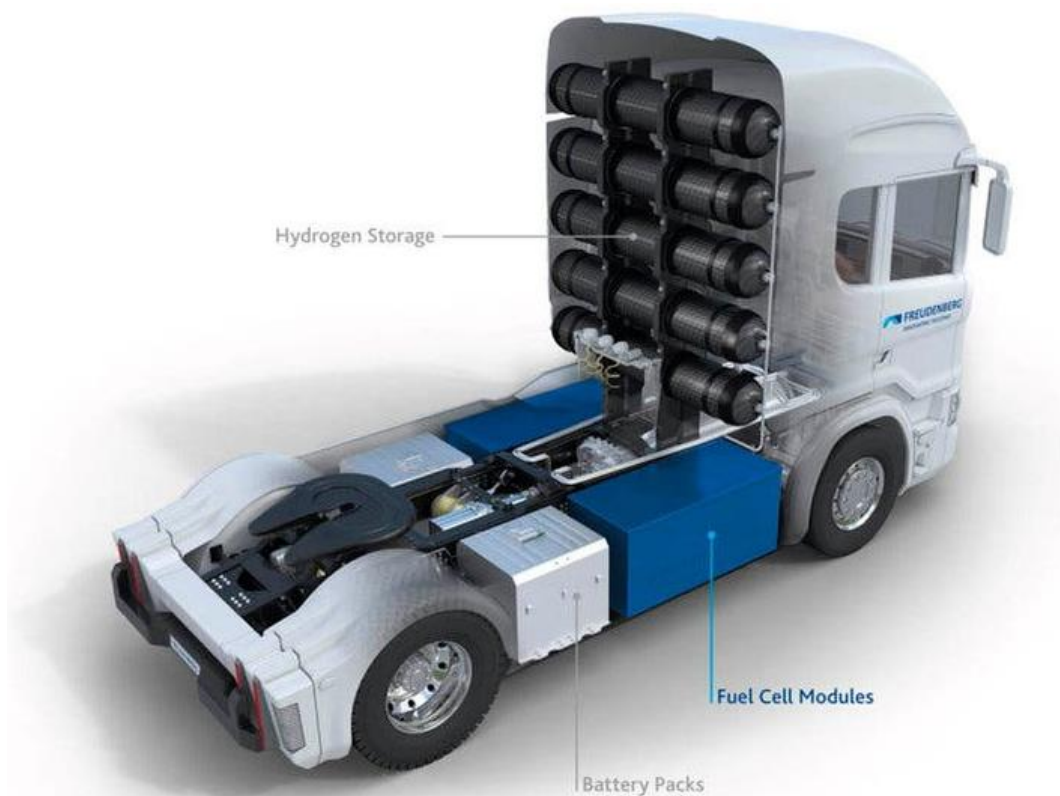


Ilustración 13. Configuración camión eléctrico con pila de combustible de hidrógeno. Fuente: www.hibridosyelectricos.com

- Inversor:
 - Permite convertir la corriente continua de las baterías en corriente alterna a través de un transformador, para que se pueda utilizar en los motores eléctricos.
- Sistema de frenado regenerativo.
 - Este sistema ayuda a recuperar energía cuando el camión frena. Los motores eléctricos funcionan como generadores al convertir la energía cinética del camión en energía eléctrica. Esta energía se almacena en las baterías y puede utilizarse para alimentar a los motores eléctricos.

A continuación, se muestran los rendimientos principales que se han determinado para llevar a cabo los cálculos. Estos valores se han definido como resultado de diversas búsquedas de información, para obtener un rendimiento medio total del 80% aproximadamente en la configuración de baterías y algo menor al 60% en la configuración de pila de combustible.

Tabla 3. rendimientos de la transmisión de energía en la propulsión eléctrica

PROPULSIÓN ELÉCTRICA	RENDIMIENTO PILA COMBUSTIBLE [%]	RENDIMIENTO BATERIA [%]	RENDIMIENTO MOTOR [%]	RENDIMIENTO TRANSMISIÓN [%]
BATERÍAS ²⁷	-	90	95	95
PILA DE COMBUSTIBLE ²⁸	75	81	95	95

Es importante mencionar que esta tecnología aún no está desarrollada al completo y no existen vehículos industriales pesados con estas características que se proponen en el Trabajo. Pero, se prevé que en unos años estas tecnologías se desarrollen lo suficiente como para poder plantearse como una alternativa al diésel.

2.4 Flotas

Según el informe presentado en enero del año 2023 por la European Automobile Manufacturers' Association (ACEA), la flota de camiones en España tiene una edad media de 14.3 años, estando un 0.1% por encima de la media europea.



Ilustración 14. Edad media de la flota de camiones en España²⁹.

²⁷ Gutiérrez, D (julio 2024) Mercedes-Benz recorre Europa con su camión eléctrico eActros 600: más de 13000 km y 20 países (Híbridos y eléctricos). https://www.hibridosyelectricos.com/camiones/mercedes-eactros-600-electrico-consumo-autonomia_75044_102.html (octubre 2024)

²⁸ Nuevo, D. (enero 2024) La pila de combustible (TECPA) <https://www.tecpa.es/pila-combustible/#:~:text=La%20eficiencia%20energ%C3%A9tica%20de%20la,varia%20del%2030%20al%2035%25>. (octubre 2024)

De la cual, el 99.1% corresponden a motorizaciones diésel y el restante 0.8% a gas natural. Lo que supone un 2.7% por encima de la media europea.

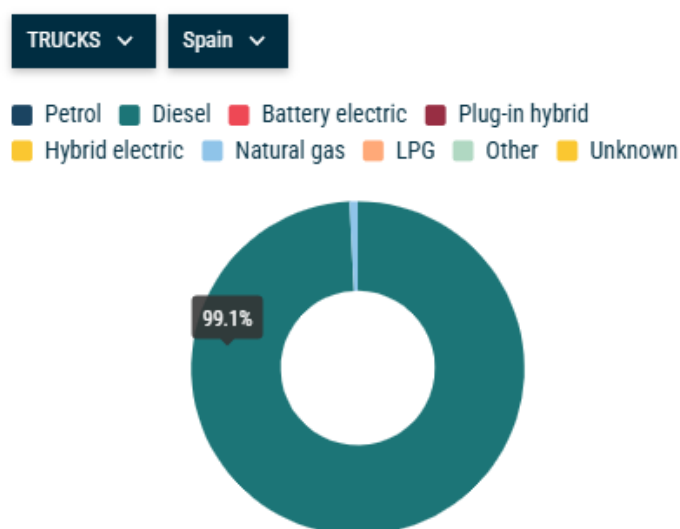


Ilustración 15. Porcentaje según motorización de la flota de camiones en España³⁰:

Tras estos datos y debido a las circunstancias expuestas anteriormente de cara a reducir las emisiones, mediante la descarbonización del transporte por carretera. La futura elección de la flota de camiones en España será crucial para cumplir con los requisitos de las nuevas restricciones y que las empresas de transporte de mercancías disminuyan sus costes en función del tipo de cabeza tractora a elegir.

Capítulo 3: Descripción y planteamiento del trabajo

De cara a desarrollar la herramienta que permita seleccionar el tipo de configuración del sistema de propulsión para vehículos industriales pesado de transporte de mercancías por carretera en función de los costes por consumo. Es necesario definir el marco de estudio en el que el trabajo se va a centrar y desarrollar.

En primer lugar, tal y como se ha definido anteriormente, van a ser objeto de estudio diferentes configuraciones de sistemas de propulsión de cara a obtener diferentes resultados de consumo para cada una de ellas. Este tipo de configuraciones se van a estudiar para vehículos industriales pesados de transportes de mercancías por

29 ACEA DRIVING MOBILITY FOR EUROPE Report-Vehicles in use, Europe 2023 (January 2023).

<https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2023> (septiembre 2023)

30 ACEA DRIVING MOBILITY FOR EUROPE Report-Vehicles in use, Europe 2023 (January 2023).

<https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2023> (septiembre 2023)

carretera en camiones articulados de 40 toneladas como peso máximo autorizado (MMA). El resto de tipología de camiones no se considera en el alcance del trabajo.

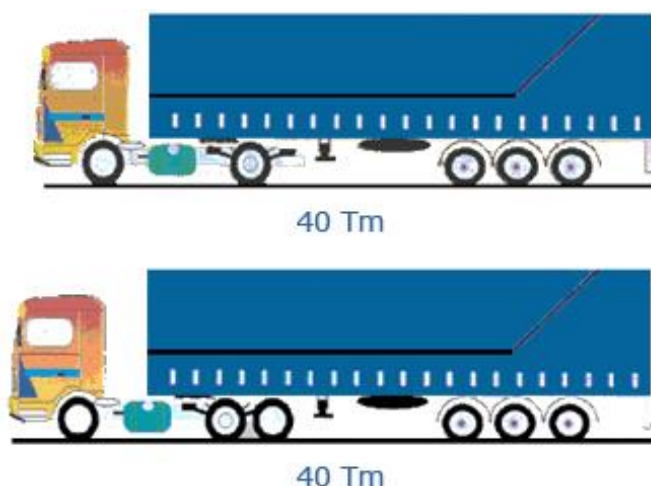


Ilustración 16. Camión articulado de 40 toneladas³¹. Fuente: Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible

De cara a tener datos sobre las diferentes cabezas tractoras que existen en el mercado actual y de cara a obtener datos geométricos de ellas para posteriormente realizar los cálculos del trabajo. Se ha realizado un estudio de mercado [Ver ANEXO II: Cabezas tractoras] en el que se han ido seleccionando cabezas tractoras en función de su motorización. En este mercado se han tenido en cuenta la mayoría de las marcas de camiones.

Tras este estudio de mercado, se ha considerado que el camión articulado estándar para realizar los cálculos en el trabajo tendrá los siguientes datos geométricos.



Ilustración 17. Área frontal camión³²

³¹ Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible <https://www.transportes.gob.es/transporte-terrestre/inspeccion-y-seguridad-en-el-transporte/pesos-y-dimensiones/pesos/pesos-trailer/trailer-de-mas-de-cuatro-ejes> (agosto 2024)

- Área frontal: Según el estudio de mercado realizado en el Anexo II (Cabezas tractoras), un valor medio del área frontal de un camión sería 9.4 m².
- Número de ejes: 5
- Peso propio: 15 toneladas
 - Cabeza tractora: 8 toneladas
 - Remolque: 7 toneladas
- Carga máxima, teniendo en cuenta una MMA de 40 toneladas: 25 toneladas

Una vez definida la configuración del camión articulado, el trabajo se centra en estudiar rutas de servicios entre ciudades. Por lo que las rutas llevadas a estudio transcurren sobre autovías y autopistas entre ciudades. Siendo carreteras secundarias, zonas urbanas, carreteras de montaña y otra tipología de carreteras, opciones fuera del alcance del trabajo.

En cuanto a la orografía de las rutas, se van a llevar a estudio tanto rutas llanas, como montañosas y mixtas. Se define como perfil montañoso rutas en las que tengan pendientes medias mayores al 5%³³, según marca normativa.

En relación a la carga, inicialmente se calcula con la MMA de cara a obtener el consumo por tonelada de cada una de las motorizaciones. Posteriormente, se definen una serie de escenarios en los que se estudia el consumo por tonelada útil transportada, las emisiones y los costes económicos con diferentes porcentajes de la MMA.

3.1 Obtención de los datos

El siguiente capítulo se va a centrar en explicar los datos seleccionados, la metodología y las decisiones que se han tomado para la obtención de la información. Estas decisiones permitirán a través del apartado teórico obtener una herramienta sobre la elección del sistema de propulsión en función de la ruta.

³² Europa Camiones. <https://www.europa-camiones.com/ficha-tecnica-gama/man-tgx-18-440-4x2-bls-efficient-line> (julio 2024)

³³ Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Norma 31-IC de la Instrucción de carreteras – Trazado* (enero 2020) (agosto 2024)

3.1.1 Ruta

Para el desarrollo del Trabajo de Final de Máster, es necesario definir en primer lugar una ruta que permita realizar el cálculo teórico en función del sistema de propulsión. Para ello, se utiliza la ruta que realizan los camiones desde la planta de SAICA, en el Burgo de Ebro, provincia de Zaragoza, hasta la localidad valenciana de Silla.

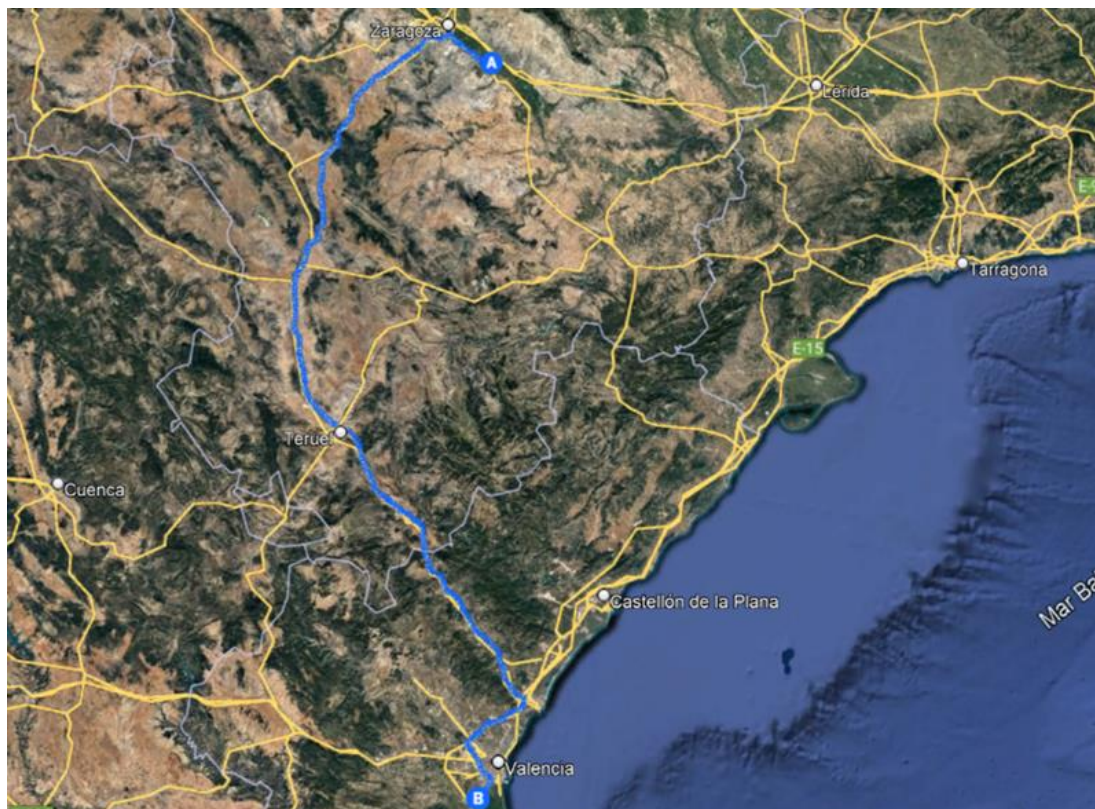


Ilustración 18. Ruta Burgo de Ebro (Zaragoza) - Silla (Valencia): Elaboración propia con My Google Maps

Durante este trayecto los datos de la ruta se van almacenando en la aplicación CANBUS³⁴. Esta aplicación permite obtener datos muy interesantes del trayecto, al realizar un muestreo de los datos cada 1 o 2 minutos. Lo que permite obtener información suficiente tanto de la ruta, desnivel y kilómetros realizados. Como información referente al consumo instantáneo, nivel de combustible y velocidad del camión a lo largo de ruta. [VER ANEXO II DATOS RUTA EL BURGO DE EBRO – SILLA].

A través de los datos recogidos en la aplicación CANBUS, los cuáles han sido facilitados por el departamento de Transportes de la Universidad de Zaragoza, se ha

³⁴ Michelin CAN BUS. <https://connectedfleet.michelin.com/en/glossary/can-bus> (julio 2024)

podido representar el perfil de la ruta, para conocer si se trata de un perfil montañoso, mixto o plano.

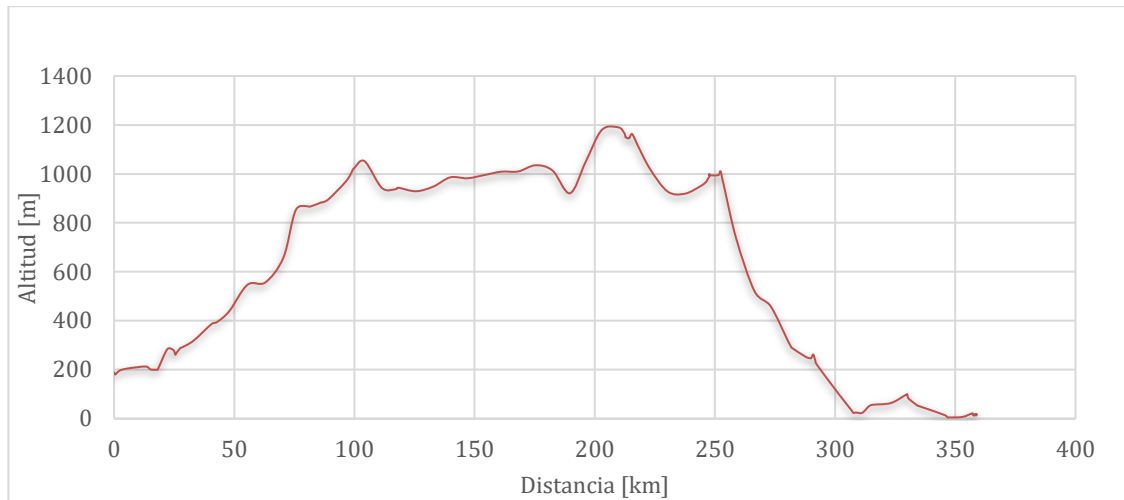


Ilustración 19. Perfil de la ruta (datos: CANBUS). Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la *Ilustración 21*, se trata de un perfil mixto. Debido a que tiene una cierta diferencia de altitud a lo largo de la ruta, pero también aparecen tramos en los que la diferencia de altitud no es excesiva. Por lo tanto, se considera que se trata de un perfil mixto.

De cara a testear los datos obtenidos por la aplicación CANBUS, se ha optado por representar la ruta a través de los datos obtenidos por el programa Google Earth Pro. Para ello se ha definido una nueva ruta en el programa, introduciendo los datos de partida, SAICA (EL Burgo de Ebro) y los datos de llegada, Silla (Valencia). Posteriormente se ha comprobado que el perfil de la ruta coincide con los datos facilitados por la Universidad de Zaragoza.



Ilustración 20. Perfil de la ruta. Fuente: Elaboración propia con Google Earth Pro

Como se observa el perfil resultante es similar al calculado a través de los datos de la aplicación CANBUS, lo que permite concluir que la lectura de la aplicación sobre los datos de la ruta es correcta.

3.1.2 Datos Meteorológicos

De cara al cálculo teórico no se van a tener en cuenta las condiciones meteorológicas, debido a que, en la elaboración de los casos de estudio y posibles escenarios, no se sitúan en el tiempo. Por lo que no se dispone de información meteorológica. Aun así, la herramienta se desarrolla teniendo en cuenta esas posibles afecciones climatológicas.

En este apartado se va a tener en cuenta la climatología que hubo en las fechas en la que se realizó la ruta facilitada. De cara a conocer como influyeron las condiciones climatológicas. Se van a considerar dentro de las condiciones climatológicas el viento, las precipitaciones y la temperatura.

Para obtener los datos en la fecha de la ruta se descargan los datos climatológicos de la web de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), la cual nos proporciona diferentes datos sobre la climatología que hubo ese día en diferentes lugares, gracias a las estaciones climatológicas que tiene repartidas por el territorio nacional.

Dado que la ruta se inicia en El Burgo de Ebro hasta la localidad valenciana de Silla, se van a recoger datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a la ruta y en la fecha en la que se realizó, 18 de diciembre de 2018.

Las estaciones que se han considerado con sus respectivos datos son las siguientes:

Tabla 4. Estación climatológica de Quinto (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA	QUINTO
IND. CLIMATOLÓGICO	9434P
PROVINCIA	Zaragoza
ALTITUD	205 m
TEMPERATURA MEDIA	3.2°C
PRECIPITACIONES	0l/m2
DIRECCIÓN DEL VIENTO	18 °
VELOCIDAD MEDIA	0.8 km/h

Tabla 5 Estación climatológica Zaragoza - Valdespartera (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA	ZARAGOZA VALDESPARTERA
IND. CLIMATOLÓGICO	9510X
PROVINCIA	Zaragoza
ALTITUD	258 m
TEMPERATURA MEDIA	4.8°C
PRECIPITACIONES	0l/m2
DIRECCIÓN DEL VIENTO	99 °
VELOCIDAD MEDIA	3.1 km/h

Tabla 6 Estación climatológica Calamocha (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA	CALAMOCHA
IND. CLIMATOLÓGICO	9381I
PROVINCIA	Teruel
ALTITUD	884 m
TEMPERATURA MEDIA	4.2°C
PRECIPITACIONES	0.6l/m2
DIRECCIÓN DEL VIENTO	26 °
VELOCIDAD MEDIA	1.9 km/h

Tabla 7 Estación climatológica Teruel (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA	TERUEL
IND. CLIMATOLÓGICO	8368U
PROVINCIA	Teruel
ALTITUD	902 m
TEMPERATURA MEDIA	3.4°C
PRECIPITACIONES	0l/m2
DIRECCIÓN DEL VIENTO	15 °
VELOCIDAD MEDIA	0.6 km/h

Tabla 8 Estación climatológica Segorbe (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA	SEGORBE
IND. CLIMATOLÓGICO	8439X
PROVINCIA	Castellón
ALTITUD	400 m
TEMPERATURA MEDIA	7.4°C
PRECIPITACIONES	0l/m2
DIRECCIÓN DEL VIENTO	26 °
VELOCIDAD MEDIA	0.8 km/h

Tabla 9 Estación climatológica Sagunto (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA	SAGUNTO
IND. CLIMATOLÓGICO	8446Y
PROVINCIA	Valencia
ALTITUD	30 m
TEMPERATURA MEDIA	9.2°C
PRECIPITACIONES	0l/m2
DIRECCIÓN DEL VIENTO	-
VELOCIDAD MEDIA	0 km/h

Tabla 10 Estación climatológica Valencia-Aeropuerto (datos: AEMET). Fuente: Elaboración propia

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA	VALENCIA AEROPUERTO
IND. CLIMATOLÓGICO	8414A
PROVINCIA	Valencia
ALTITUD	56 m
TEMPERATURA MEDIA	8.6°C
PRECIPITACIONES	0l/m2
DIRECCIÓN DEL VIENTO	99 °
VELOCIDAD MEDIA	1.9 km/h

Tras obtener los datos de las diferentes estaciones meteorológicas, se establece que los datos de la estación de Quinto (Zaragoza) no se van a tener en cuenta para este cálculo teórico, debido a la lejanía de la estación con el punto de partida de la ruta y la dirección de la ruta. Por lo que para este primer tramo de la ruta se va a utilizar los datos de la estación climatológica de Zaragoza-Valdespartera (Zaragoza).

3.1.3 Viento

Se observa como en cada una de las estaciones se recogen unos valores de intensidad y dirección diferentes. Todos los valores obtenidos son valores normales por lo que se considera que ese día durante este trayecto el conductor no tuvo una gran resistencia por el aire.

De todas formas, se va a tener en cuenta la resistencia que ofrece el aire en la ruta, en relación con los datos de las estaciones climatológicas (Velocidad media del viento y dirección del viento) y la dirección de marcha del camión. [Ver ANEXO III: Cálculo de la resistencia del viento].

3.1.4 Precipitaciones

Durante esta fecha los datos recogidos sobre precipitaciones reflejan cantidades mínimas. Por lo que se descarta que la influencia de las precipitaciones afecte al consumo.

3.1.5 Temperatura

En cuanto a la temperatura, los datos recogidos son propios de la estación en la que se realizó la ruta, pero sin ningún tipo de afección directa sobre el consumo.

Capítulo 4: Desarrollo teórico y validación

4.1 Cálculo teórico

Para llevar a cabo el desarrollo teórico de la herramienta, es importante conocer las principales variables que afectan al balance de energía de un transporte de mercancías por carretera.

Principalmente se debe de considerar las fuerzas resistentes que puede aparecer a lo largo del trayecto, estas fuerzas son aquellas que son necesarias vencer para poder desplazarse por la carretera. Principalmente estas fuerzas se relacionan con el peso del vehículo y peso de la carga. También entran en acción el estado de la carretera, estado de los neumáticos del vehículo, geometría del vehículo, además de las condiciones climatológicas, como puede ser el viento, las precipitaciones y la temperatura.

De las consideraciones nombradas anteriormente se van a descartar en el presente trabajo las relacionadas con el mantenimiento de los vehículos y las condiciones meteorológicas- Es decir, se va a considerar que tanto los neumáticos, sistema de propulsión, carrocería y demás elementos que definen el vehículo se encuentran en perfecto estado de funcionamiento. Además, se va a considerar que el asfalto de las rutas se encuentra en buen estado, dado que se realizan sobre autovías y autopistas. Por último, se va a considerar una climatología ideal en la que ninguno de sus fenómenos afecte al trayecto.

Por lo tanto, el trabajo necesario para poder desplazar un vehículo industrial pesado de un punto de salida hasta un punto de llegada por carretera se define como la suma de todas las fuerzas resistentes (F_r) por la distancia recorrida (d).

$$W_r[J] = d \cdot F_r = d \cdot (R_r + R_a) \quad (\text{Ec. 01})$$

Donde esas fuerzas resistentes se refieren a la resistencia a rodadura (R_r) y la resistencia aerodinámica (R_a).

$$R_r[N] = C_r \cdot F_n = C_r \cdot g \cdot m \quad (\text{Ec. 02})$$

$$R_a[N] = \frac{1}{16} v^2 \cdot A_f \cdot C_w \quad (\text{Ec. 03})$$

Donde:

- C_r : Coeficiente de rodadura del asfalto
- F_n : Fuerza normal [N]
- m : Masa total del camión articulado, incluyendo tara y carga transportada
- g : Gravedad (9.81 m/s^2) $\rightarrow$
- A_f : Área frontal en m^2
- C_w : Coeficiente de resistencia al aire de la superficie frontal del camión
- v : Velocidad de desplazamiento del vehículo industrial pesado [m/s]

El coeficiente de rodadura depende del tipo de configuración del camión, es decir, del número de ejes del que disponga, del tipo de neumático, además, de las condiciones del asfalto y de la velocidad de conducción.

En cuanto a las condiciones del asfalto, se han definido como óptimas al tratarse el caso de estudio sobre autovías y autopistas, las cuáles suelen tener un buen mantenimiento. El tipo de neumático seleccionado para la configuración de este trabajo es radial y se considera que está hinchado óptimamente.

En relación con los números de ejes, en el capítulo 3 *“Descripción y planteamiento del trabajo”* se define un número de ejes de 5, ya que se trata de una configuración muy utilizada en las rutas nacionales.

En estos 5 ejes el valor del coeficiente de rodadura no es el mismo, dado que no soportan el mismo peso, (el quinto eje, a veces no llegar a tocar el asfalto según la carga transportada). Y únicamente en uno de ellos está permitido el giro de las ruedas. Por lo tanto, el valor varía en función del eje. Para tomar un valor medio del coeficiente de rodadura, se observa la siguiente Ilustración.

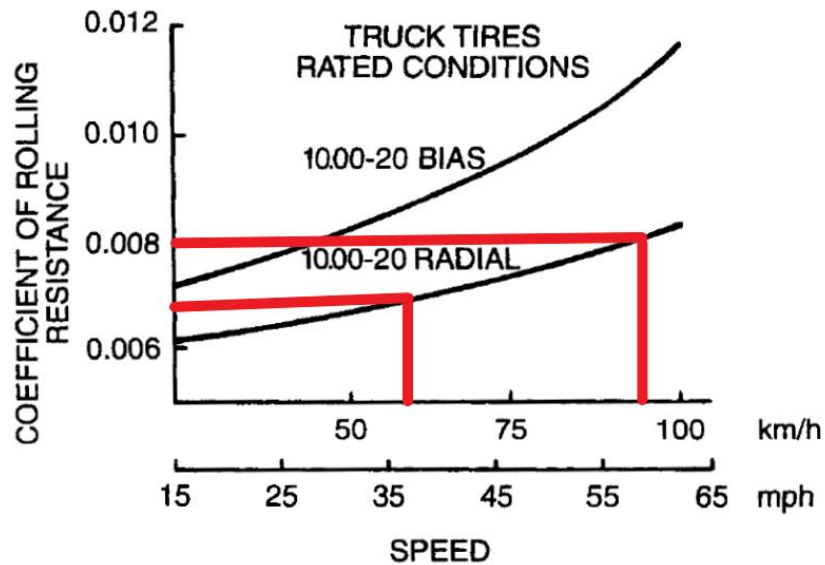


Ilustración 21. Variación del coeficiente de rodadura en neumáticos radiales y diagonales en función de la velocidad.³⁵

Dónde se observa que para neumáticos radiales el valor del coeficiente varía en función de la velocidad de desplazamiento.

Por lo tanto, se utiliza la siguiente fórmula³⁶ en función de la velocidad de desplazamiento:

$$C_r = 0.006 + 0.23 \cdot 10^{-6} \cdot v^2 \quad (\text{Ec. 04})$$

Donde:

- v : Es la velocidad de desplazamiento del vehículo industrial pesado en km/h

El valor de la velocidad del camión es uno de los datos facilitados por la Universidad de Zaragoza, de la misma manera que la carga transportada.

³⁵ Wong, J. Y. (2001) *THEORY OF GROUND VEHICLES* (3ª Edition). JOHN WILEY & SIN, INC. (noviembre 2024)

³⁶ Wong, J. Y. (2001) *THEORY OF GROUND VEHICLES* (3ª Edition). JOHN WILEY & SIN, INC. (noviembre 2024)

En cuanto al área frontal, en el Capítulo 3 *Descripción y planteamiento del trabajo* se ha considerado un área frontal de 9.4m². De cara a evitar que el cálculo teórico se muestre rígido con la introducción de constantes, se opta por calcular el área frontal del camión con la siguiente fórmula³⁷:

$$A_f = 1.6 + 0.00056 (m_v - 765) \quad (\text{Ec. 05})$$

Donde:

- m_v : Es la tara del vehículo en kilogramos

En cuanto al coeficiente aerodinámico se va a utilizar un coeficiente aerodinámico de 0.87.³⁸

Otra de las variables que se deben de tener en cuanto para realizar el balance de energía de una ruta determinada, son las variaciones de la energía cinética (ΔE_c) y las variaciones de energía potencial (ΔE_p).

Para calcular las variaciones de energía cinética, se tiene en cuenta la variación de la velocidad del camión en el periodo de muestreo correspondiente, según la siguiente fórmula:

$$\Delta E_c [J] = \frac{1}{2} m \cdot (v_f^2 - v_o^2) \quad (\text{Ec. 06})$$

Donde:

- v_f : Es la velocidad final del camión en el periodo de muestreo [m/s]
- v_o : Es la velocidad inicial del camión en el periodo de muestreo [m/s]

Para el cálculo de las variaciones de energía potencial, se tiene en cuenta la diferencia de altitud recorrida en el periodo de muestreo.

$$\Delta E_p [J] = m \cdot g \cdot (h_f - h_o) \quad (\text{Ec. 07})$$

Donde:

- h_f : Es la altitud final del camión en el periodo de muestreo [m]
- h_o : Es la altitud inicial del camión en el periodo de muestreo [m]

³⁷ Wong, J. Y. (2001) *THEORY OF GROUND VEHICLES* (3ª Edition). JOHN WILEY & SIN, INC. (noviembre 2024)

³⁸ Wong, J. Y. (2001) *THEORY OF GROUND VEHICLES* (3ª Edition). JOHN WILEY & SIN, INC. (noviembre 2024)

Una vez conocidas las variables que intervienen en el balance energético de una ruta determinada, es importante definir ciertos casos que se pueden dar a lo largo del trayecto.

Estos casos son los relacionados cuando los valores de velocidad y/o altitudes finales son menores a los valores iniciales. En esas situaciones se supone que el camión está frenando, por lo que el consumo de estos periodos de muestreo serán negativos. Estos valores no se tendrán en cuenta a la hora de realizar el balance de energía porque no se trata de una energía que se recupere, salvo para los camiones de propulsión eléctrica que gracias al freno regenerativo son capaces de recuperar un cierto porcentaje de esos valores. El porcentaje definido para llevar a cabo los cálculos del freno regenerativo se ha estimado un valor del 12%.

Una vez definidos los límites de cálculo, se procede a calcular el balance energético con las variables definidas anteriormente. Para llevar a cabo ese cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$E_{total} [kWh] = \frac{W_r + \Delta E_c + \Delta E_p}{3600000} \quad (\text{Ec. 08})$$

De esta manera se conocen los kWh de la ruta de estudio, los cuales necesitamos para calcular el consumo teórico del camión en función de su motorización. Para motores de combustión interna, calculamos el consumo teórico con la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo}_t \left[\frac{\text{litros}}{100\text{km}} \right] = \frac{\frac{E_{total} \cdot 3600 \cdot 1000}{PCI_{combustible} \cdot \rho_{combustible}} \cdot 100}{\frac{(\eta_{motor} \cdot \eta_{transmisión})}{10000}} \quad (\text{Ec. 09})$$

Donde:

- E_{total} : Es la energía total obtenida de todos los balances de energía de los periodos de muestreo
- $PCI_{combustible}$: Es el poder calorífico inferior del combustible utilizado
- $\rho_{combustible}$: Es la densidad del combustible utilizado
- d_{total} : Distancia total recorrida en la ruta [km]

- η_{motor} : Rendimiento del motor para el combustible utilizado
- $\eta_{transmisión}$: Rendimiento de la transmisión para el sistema de propulsión utilizado

Los datos utilizados referidos al motor y al combustible aparecen en la siguiente tabla;

Tabla 11. Datos de cálculo para el diésel

Variables	Valores
$PCI_{diésel} [kJ/kg]$	43000
$\rho_{diésel} [m^3/kg]$	832
$\eta_{motor} [\%]$	42
$\eta_{transmisión} [\%]$	90

Los resultados totales obtenidos son los siguientes para la ruta El Burgo de Ebro (Zaragoza) – Silla (Valencia) del 18/12/20818, facilitada por la Universidad de Zaragoza. En el ANEXO IV “Resultados ruta El Burgo de Ebro – Silla”, se pueden ver los resultados de las fuerzas resistentes en cada periodo de muestreo.

Tabla 12. Datos teóricos ruta El Burgo de Ebro - Silla.

$E_{total} [kWh]$	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [l]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$
405.56	30.08	107.96	4.31

4.2 Consumo real

A través de los datos facilitados por la Universidad de Zaragoza podemos obtener también el consumo en litros por cada 100 km recorridos, los litros consumidos y los litros por tonelada útil transportada. Ya que se tiene el valor de los litros consumidos, de los kilómetros recorridos y las toneladas útiles transportadas.

Para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$Consumo_r \left[\frac{\text{litros}}{100 \text{ km}} \right] = \frac{\text{litros}}{d_{viaje}} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

- Litros: Se puede obtener de restar los kilómetros finales del trayecto menos los kilómetros iniciales de la ruta, facilitados por CANBUS.

Tabla 13. Datos reales ruta El Burgo de Ebro - Silla.

$Consumo_r [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_r [l]$	$Consumo_r [\frac{l}{t}]$
33.43	120	4.52

4.3 Análisis de los resultados

Con los datos obtenidos de los cálculos teóricos y de los datos reales de consumo calculados a través de la información facilitada por la Universidad de Zaragoza. Se calcula el error cometido y la variación con las siguientes fórmulas:

$$error [\frac{litros}{100km}] = Consumo_r - Consumo_t \quad (Ec. 11)$$

$$Variación [\%] = \frac{Consumo_r - Consumo_{teórico}}{Consumo_t} \quad (Ec. 12)$$

El resultado obtenido es el siguiente, si aplicamos la fórmula al consumo por cada 100 kilómetros[l/100km] al consumo de litros de combustible [l] y al consumo por tonelada transportada.

Tabla 14. Error y variación del consumo teórico de litros a los cien kilómetros

$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_r [\frac{l}{100km}]$	$error [\frac{l}{100km}]$	$Variacion [\%]$
30.08	33.43	3.35	11.1

Tabla 15. Error y variación del consumo teórico de litros

$Consumo_t [l]$	$Consumo_{rl} [l]$	$error [l]$	$Variacion [\%]$
107.96	120	12.04	11.1

Tabla 16. Error y variación del consumo teórico de los litros por tonelada útil transportada

$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_r [\frac{l}{t}]$	$error [\frac{l}{t}]$	$Variacion [\%]$
4.31	4.52	0.21	4.8

Observando el resultado obtenido, se puede observar un ligero error en el cálculo del consumo y por tanto de los litros. Esto puede ser debido a que en el cálculo teórico estamos considerando ciertos valores de variables como constantes cuando en la realidad tiene valores variables. Otra parte del error puede venir del sistema de recogida de datos y la obtención a través de los programas utilizados para obtener los datos de la ruta. Otra de las causas puede ser por la estimación de los pesos, ya que probablemente la carga transportada realmente, no coincida con la definida teóricamente.

Por otro lado, en el trabajo se ha definido una cabeza tractora con su geometría y pesos, lo que también da lugar a cierto error en el cálculo. Y no se han tenido en cuenta ciertas fuerzas resistente que en la realidad están presentes, aunque no afecten de la misma manera que las definidas. Además, tampoco se han tenido en cuenta las afecciones por los fenómenos meteorológicos.

Tras estos resultados a través de una cabeza tractora determinada, se obtienen valores aceptables para ser usados de cara a conocer el balance energético de una ruta determinada, ya que el objetivo del trabajo no es definir una herramienta del cálculo exacto del balance energético, sino una herramienta que permita tomar decisiones y realizar predicciones.

Capítulo 5: Definición y desarrollo de los casos de estudio.

Una vez establecido el cálculo teórico se proponen diferentes casos de estudio en los que se van a estudiar cada uno de los sistemas de propulsión mencionados anteriormente.

Para llevar a cabo el estudio de estos sistemas de propulsión, es necesario definir una ruta en la que poder evaluar el consumo por kilómetros [$l/100km$] y por toneladas útiles transportadas [l/t] de cada uno de ellos.

En este trabajo se definen dos rutas, con la idea de ver la influencia del perfil en el consumo del trayecto.

Las rutas definidas son las siguientes:

- Zaragoza – Madrid
- Valencia – Barcelona

5.1 Rutas

De cara a obtener la información referente a la altimetría y la longitud de las rutas seleccionadas, es necesario realizar una serie de procesos con diferentes programas para poder obtener dichos datos.

El proceso consiste en primer lugar en generar la ruta en la aplicación de My Maps en Google, y poder exportar la ruta como un archivo KMZ. Para posteriormente a través del programa TCX Converter, extraer los datos de altitud y longitud de la ruta en un archivo de texto que finalmente se guarda en un archivo Excel, a partir del cual ya se puede trabajar. Ya que cada dato de longitud va a definir un periodo de muestreo en el que se recogerán el resto de las variables involucradas en los cálculos. Por lo que, a la hora de realizar los cálculos, se realizarán por los periodos de muestreo para después obtener los valores totales.

Tras realizar las conversiones necesarias de los archivos, se obtiene una gran cantidad de datos, por lo que se filtra de igual manera para cada una de las rutas, definiendo un valor de longitud y altitud por cada kilómetro de la ruta. De esta manera, el periodo de muestreo es el mismo en cada ruta. [Ver ANEXO V: Datos rutas seleccionadas].

Una vez obtenidos estos datos, se realiza el cálculo de la pendiente para cada uno de los periodos de muestreo, de cara a conocer la pendiente en cada uno de ellos. Y finalmente obtener la pendiente máxima del trayecto.

Dado que los datos obtenidos, pueden tener algún error en cuanto a la exactitud de la distancia y altitud. Se establece que en los periodos de muestreo en que la

pendiente sea superior al 6%, límite en las autovías y autopista nacionales, se corrige dando el valor máximo de 6%.³⁹

5.1.1 Zaragoza - Madrid

A continuación, se muestra el recorrido de la ruta Zaragoza - Madrid, junto con los datos obtenidos reflejados en el perfil de elevación.

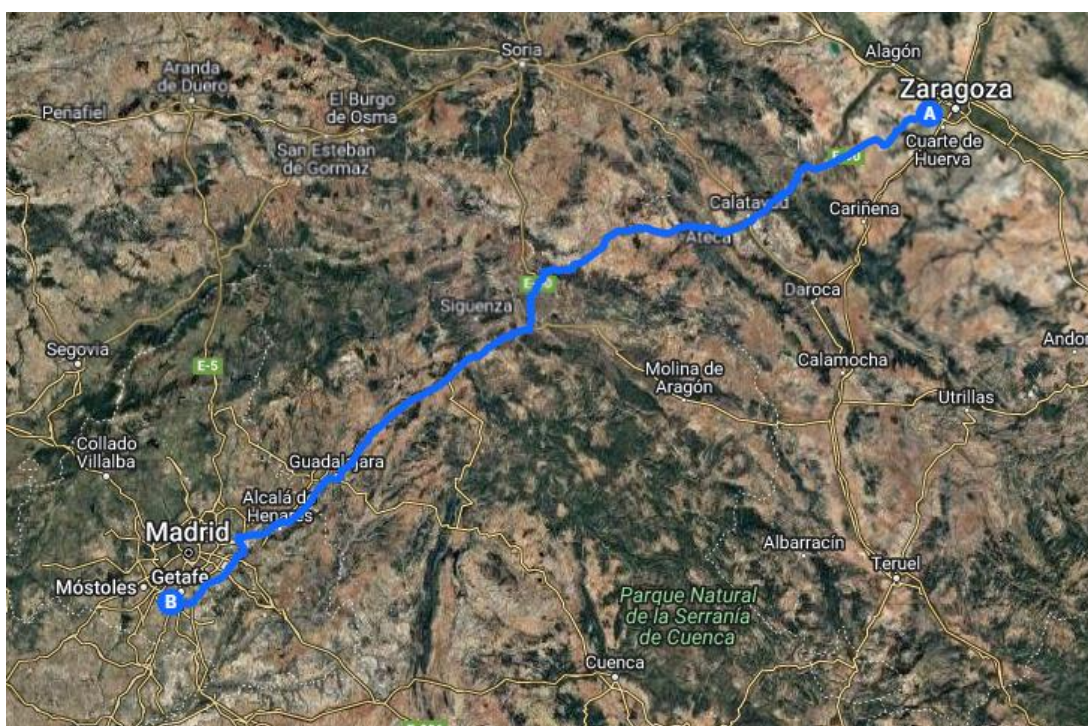


Ilustración 22. Recorrido Zaragoza - Madrid. Fuente: My Google Maps

Los datos seleccionados de distancia y altitud cada kilómetro, muestran el siguiente perfil de elevación:

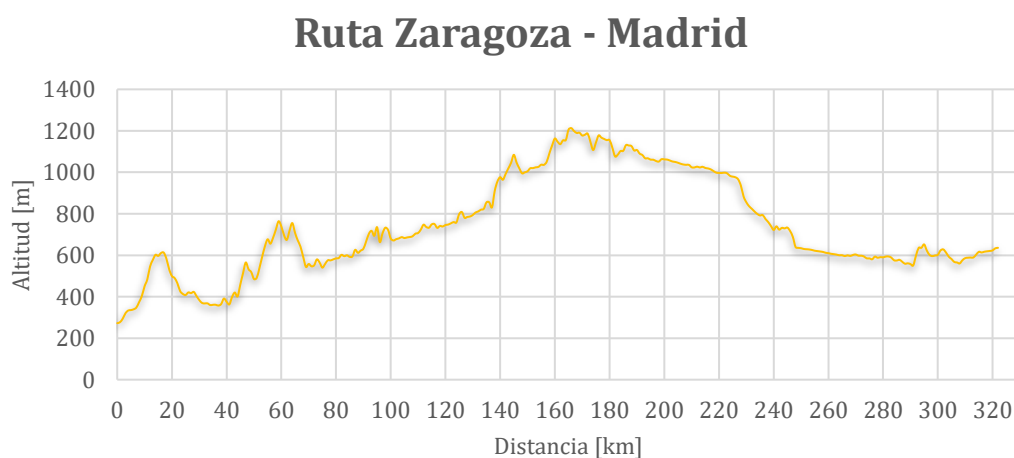


Ilustración 23. Perfil elevación Zaragoza-Madrid. Fuente: Elaboración propia

³⁹ Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Norma 31-IC de la Instrucción de carreteras – Trazado* (enero 2020) (agosto 2024)

El perfil representa una primera mitad que se puede asemejar a un perfil montañoso en el que se observan rampas con cierta pendiente, llegando a obtener una pendiente máxima del 6%. Para después pasar a una segunda mitad a un tramo más suave y con una tendencia descendente de altitud. Por lo que se define que la ruta Zaragoza-Madrid tiene un perfil mixto.

5.1.2 Valencia – Barcelona

Al igual que en el apartado anterior se muestra el recorrido y los datos de distancia y altitud representados en la gráfica del perfil de elevación.

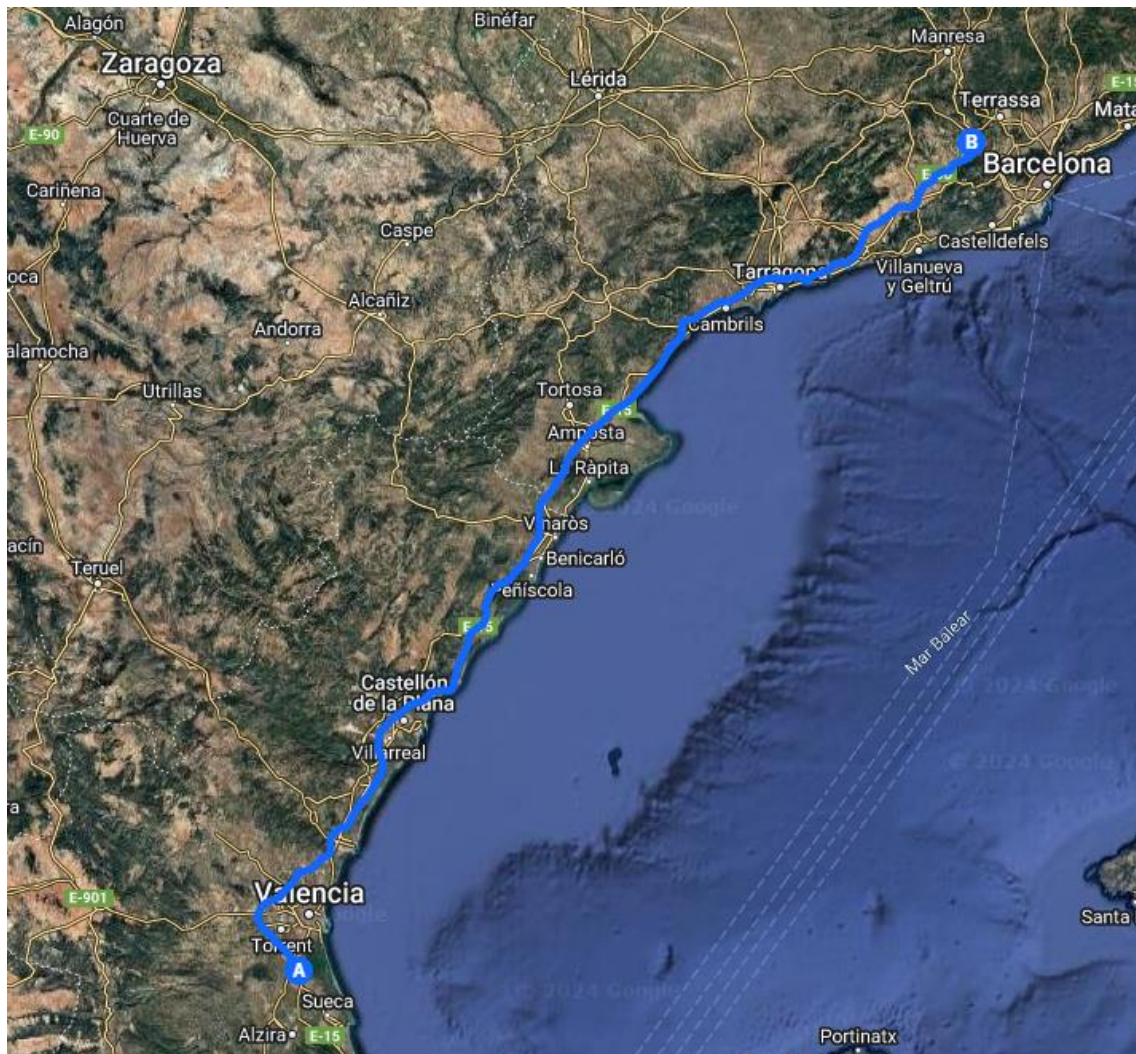


Ilustración 24. Recorrido Valencia - Barcelona. Fuente: My Google Maps

Ruta Valencia - Barcelona

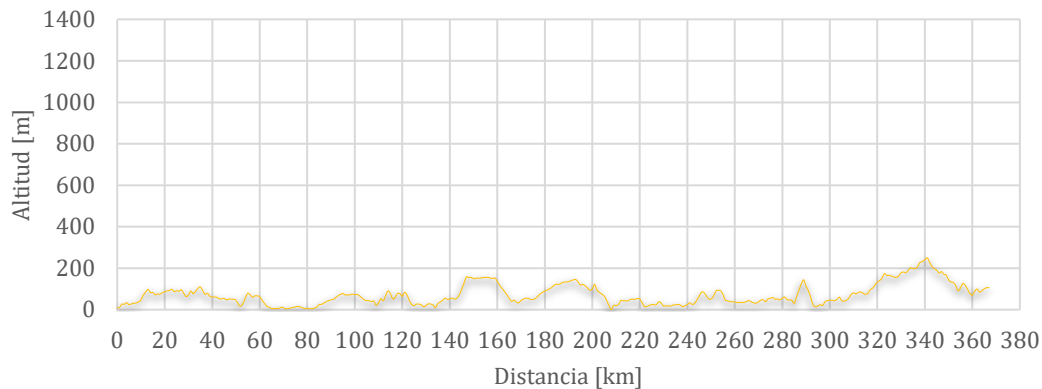


Ilustración 25. Perfil elevación Valencia-Barcelona. Fuente: Elaboración propia

En este caso observamos como se alcanzan altitudes mucho menores y se registran menos ascensos y descensos pronunciados, por lo que no existen grandes pendientes obteniendo como máximo una pendiente del 3%. Lo que hace indicar que la ruta Valencia-Barcelona tiene un perfil llano.

5.2 Datos meteorológicos

Dado que en los casos de estudio no nos vamos a situar en ningún momento del tiempo, no vamos a obtener ninguna información referente a los datos meteorológicos.

5.3 Casos de estudio

Una vez definidas las rutas, obteniendo la información del trayecto, descartando cualquier afección por parte de la meteorología y la definición de geometría y peso del camión articulado “tipo” que vamos a utilizar en los cálculos. Es necesario definir de cara al cálculo del balance energético, la velocidad del camión articulado “tipo” para cada uno de los periodos de muestreo de cada ruta.

Para ello se establece como límites de velocidad 90 km/h⁴⁰ (Artículo 48, Real Decreto 1428/2003,21 de noviembre) como valor máximo y 60km/h como velocidad mínima.

⁴⁰ Boletín Oficial del Estado (BOE) Artículo 48, Real Decreto 1428/2003,21 de noviembre <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-23514> (septiembre 2024)

Como es necesario tener valores de velocidad para cada periodo de muestreo, se establece que cuando la pendiente es 0% o la pendiente es negativa, se trata de un descenso, el camión circula a 90km/h. Para el caso que el camión debe superar una cierta pendiente se define una fórmula en función de la pendiente a superar, entre 0% y 6%, y los límites de velocidad, 60km/h y 90 km/h. Siendo la fórmula:

$$v \left[\frac{km}{h} \right] = 90 - \left(\frac{(90 - 60)}{(6 - 0)} \right) \cdot p \quad (\text{Ec. 13})$$

Siendo:

- v : La velocidad del camión a calcular en ese periodo de muestreo
- p : La pendiente calculada en ese periodo de muestreo

Una vez establecidas todas las variables y obtenida toda la información de las rutas, se realiza el cálculo del balance energético, según se ha descrito en el Capítulo 4 “*Desarrollo Teórico*”, para cada uno de los sistemas de propulsión descritos anteriormente, dónde se van a utilizar los datos recogidos en la tabla 1 “*Propiedades combustibles*”.

En este balance energético, tal y como se ha definido anteriormente, se van a calcular los litros por kilómetro recorrido [l/100km] y por tonelada útil transportada [l/t] de cara a poder comparar los diferentes sistemas de propulsión en unas mismas unidades de medida.

A continuación, se muestran los resultados en función del sistema de propulsión, en primer lugar, se muestran los resultados del sistema de propulsión térmico y posteriormente los resultados del sistema de propulsión eléctrico.

Los datos que se reflejan aparecen tanto en litros como en kilogramos, de cara a poder comparar tanto combustibles líquidos y gaseosos en las mismas unidades., dado que como normal general, los combustibles líquidos se reflejan en litros (l) y los combustibles gaseosos en kilogramos (kg).

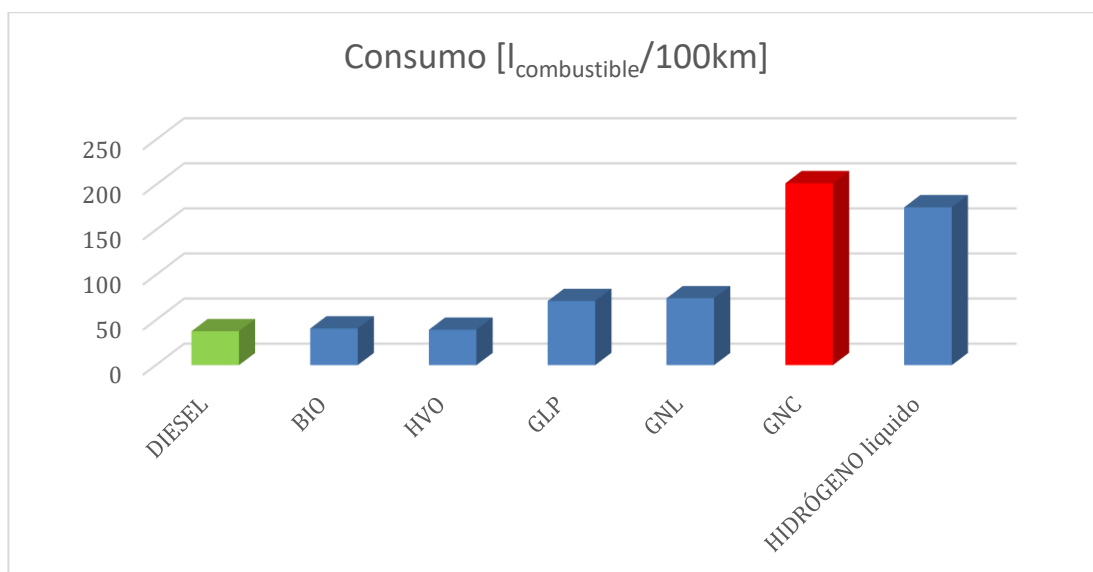
5.3.1 Combustible

Zaragoza - Madrid

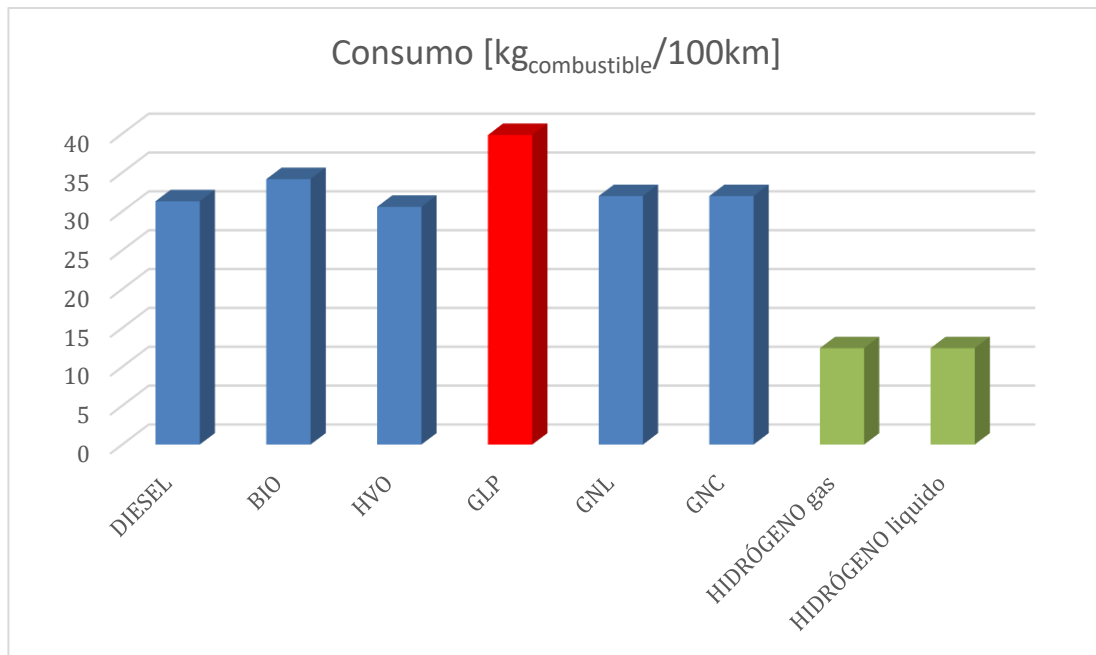
Tabla 17. Consumos resultantes de los combustibles. Ruta: Zaragoza - Madrid

Combustible	$Consumo_t \left[\frac{l}{100km} \right]$	$Consumo_t \left[\frac{l}{t} \right]$	$Consumo_t \left[\frac{kg}{100km} \right]$	$Consumo_t \left[\frac{kg}{t} \right]$
Diésel	37.62	4.84	31.30	4.03
Biodiésel	40.66	5.23	34.15	4.39
HVO	39.28	5.06	30.59	3.94
GLP	71.14	9.16	39.84	5.13
GNL	74.19	9.55	31.97	4.11
GNC	201.75	25.98	31.97	4.11
Hidrógeno gas	137907.01	17762.42	12.39	1.59
Hidrógeno líquido	175.11	22.55	12.39	1.59

Como se observa en la tabla, en los valores de consumo en litros por cada cien kilómetros existen grandes diferencias de consumo con el hidrógeno en fase gas. Ello se debe a su baja densidad energética, necesitando más volumen para conseguir la misma energía que el resto de los combustibles. Por ello, también se muestra el consumo en kilogramos de combustible para que las gráficas sea más eficientes de cara a su interpretación. De todas formas, se muestran los resultados de consumo en litros por cada 100 kilómetros del resto de combustibles.



Gráfica 1. Consumo [lcombustible/100km] Ruta: Zaragoza-Madrid



Gráfica 2. Consumo [kg_{combustible}/100 km] Ruta: Zaragoza-Madrid

En función de los datos obtenidos se observa como el combustible con menor consumo en litros por cada cien kilómetros es el Diésel (37.62 l/100km), mientras que, si tomamos la referencia por kilogramo de combustible, el menor consumo lo obtiene el Hidrógeno (12.39 kg/100km).

Valencia – Barcelona

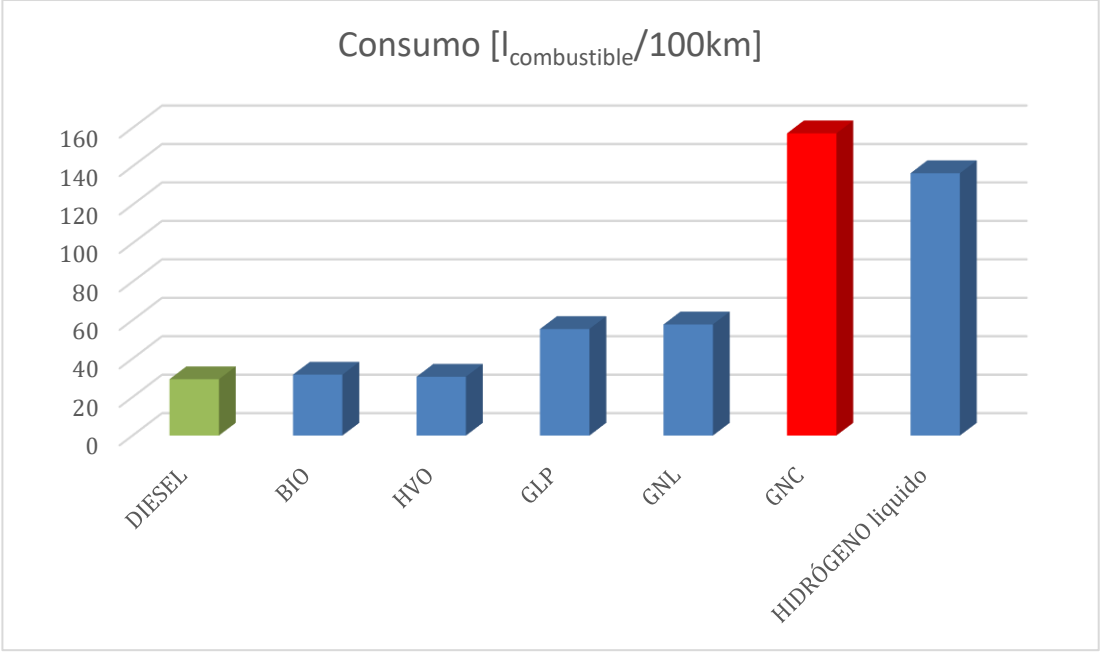
Tabla 18 Consumos resultantes de los combustibles. Ruta: Valencia - Barcelona

Combustible	$Consumo_t \left[\frac{l}{100km} \right]$	$Consumo_t \left[\frac{l}{t} \right]$	$Consumo_t \left[\frac{kg}{100km} \right]$	$Consumo_t \left[\frac{kg}{t} \right]$
Diésel	29.31	4.30	24.39	3.58
Biodiésel	31.68	4.65	26.61	3.90
HVO	30.61	4.49	23.83	3.49
GLP	55.43	8.13	31.04	4.55
GNL	57.81	8.48	24.91	3.65
GNC	157.22	23.07	24.91	3.65
Hidrógeno gas	107465.12	15775.88	9.66	1.41
Hidrógeno líquido	136.45	20.03	9.66	1.41

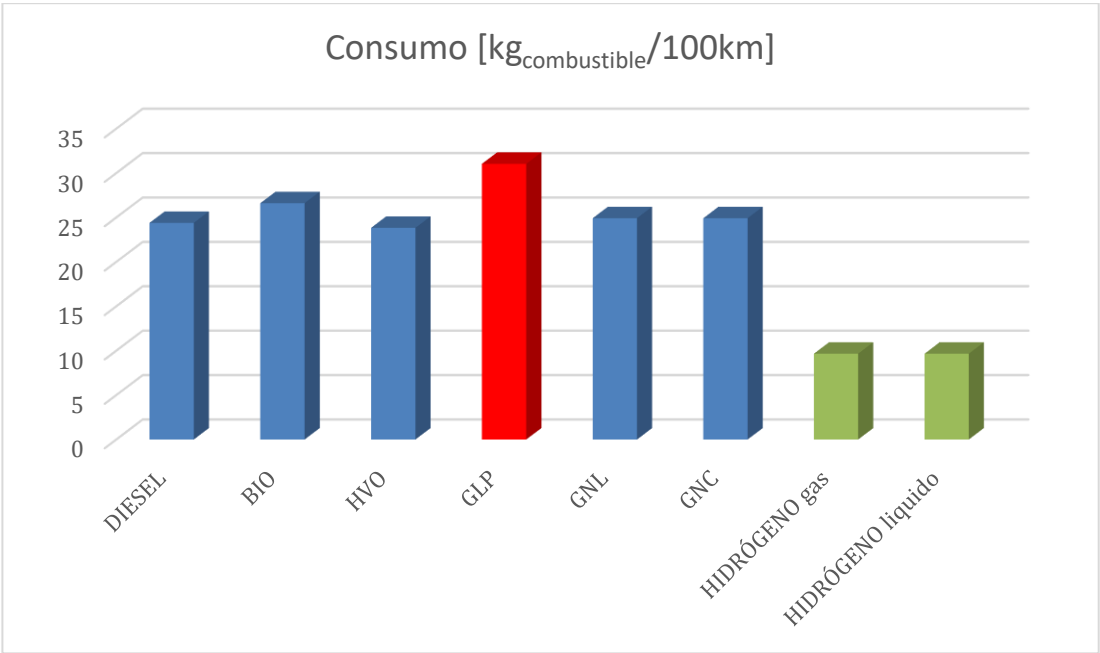
Al igual que ocurre en la ruta Zaragoza-Madrid, los consumos en litros por cada cien kilómetros del hidrógeno en estado gaseoso son muy elevados y se incluyen los

consumos en kilogramos por cada cien kilómetros y por tonelada útil transportada. De igual manera que en la otra ruta, también se muestran los resultados obtenidos por litros cada cien kilómetros del resto de combustibles.

A continuación, se muestran las gráficas de los consumos correspondientes:



Gráfica 3. Consumo [lcombustible/100km] Ruta: Valencia – Barcelona



Gráfica 4. Consumo [kg combustible/100km] Ruta: Valencia – Barcelona

En este tipo de ruta al ser un perfil llano se requiere un menor consumo de energía tal y como muestran los valores obtenidos. Los resultados son muy similares a la ruta Zaragoza-Madrid, debido a que el menor consumo en litros por cada cien kilómetros es el diésel (29.31 l/100km) y por kilogramo cada cien kilómetros es el hidrógeno (9.66 kg/100 km).

Tanto el biodiésel como el HVO muestran unos valores de consumo muy similares a los del diésel, pero en ambos son ligeramente superiores.

5.3.2 Propulsión eléctrica

En el caso de propulsión eléctrica, a la hora de realizar los cálculos se tiene en cuenta la acción del freno regenerativo. Para ello se ha definido que un 12% de la energía que utiliza el freno, es aprovechada de nuevo, lo que supone un cierto ahorro en el consumo de energía. El valor definido para el freno regenerativo se debe a que estos sistemas regenerativos de energía no poseen una gran eficiencia.

Otro de los datos a tener en cuenta, es el peso de las baterías y de la pila de combustible. Lo cual afecta directamente a la capacidad de carga útil. Ya que la tara de los camiones con propulsión eléctrica es superior a los que utilizan motores térmicos debido al peso extra del sistema de alimentación de los motores eléctricos. Para la configuración a baterías se ha determinado un peso total de 7200 kg⁴¹, ya que esta configuración necesita almacenar toda la energía a consumir en ellas. Para la configuración de pila de combustible al no tener que almacenar toda la energía en baterías, sino que se almacena en tanques de alta presión (300-700 bares) con hidrógeno, el peso es muy inferior a la configuración de baterías. Por lo que se ha definido un peso de 2500 kg para esta configuración.

Dado que la configuración de baterías no se puede calcular el consumo en función del combustible al ser electricidad. Se toma directamente el valor obtenido de la energía total de la ruta y se multiplica por el porcentaje de la cadena de transferencia

⁴¹ SynerHy Hydrogen Experts (marzo 2022) *Pila de combustible vs baterías, ¿cómo se descarbonizarán las flotas de camiones?* <https://synerhy.com/2022/03/pila-de-combustible-vs-baterias-como-se-descarbonizaran-las-flotas-de-camiones> (noviembre 2024)

de energía (batería, motor y transmisión) más la influencia del freno para conocer exactamente los kWh consumidos para la ruta definida. Una vez obtenido ese valor, ya podemos calcular el consumo en función de los kWh y de la carga útil transportada [kWh/t] para la configuración por baterías. En cuanto a la pila de combustible, se calcula de la misma manera que la del sistema de motor térmico, dado que el combustible es hidrógeno en fase gaseosa. Pero se tiene en cuenta al igual que la propulsión eléctrica por baterías, la regeneración de energía a través del freno y los rendimientos de la pila de combustible y de la batería que se sumarán a los del motor y rendimiento (E_{c09}). De esta manera ya se puede calcular su consumo en [l/100km] en [kg/100km] y en [kg/t].

Zaragoza - Madrid

Tabla 19 Consumos resultantes de la propulsión eléctrica con baterías. Ruta: Zaragoza - Madrid

Fuente de energía	$E_{consumida}$ [kWh]	$E_{recuperada}$ [kWh]	E_{total} [kWh]	$E_{total} [\frac{kWh}{t}]$
Batería	570.75	13.42	557.32	31.31

Tabla 20. Consumos resultantes de la propulsión eléctrica con pila de combustible. Ruta: Zaragoza - Madrid

Fuente de energía	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{t}]$
Pila de combustible	84001.97	12021.61	7.55	1.08

Valencia - Barcelona

Tabla 21. Consumos resultantes de la propulsión eléctrica con baterías. Ruta: Valencia - Barcelona

Fuente de energía	$E_{consumida}$ [kWh]	$E_{recuperada}$ [kWh]	E_{total} [kWh]	$E_{total} [\frac{kWh}{t}]$
Batería	510.44	4.83	505.61	28.40

Tabla 22. Consumos resultantes de la propulsión eléctrica con pila de combustible. Ruta: Valencia - Barcelona

Fuente de energía	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{t}]$
Pila de combustible	66626.65	10867.54	5.98	0.97

De los datos obtenidos a través de la herramienta sobre la propulsión eléctrica, se obtiene que los valores de consumo en la ruta Valencia – Barcelona son menores y concuerdan con el perfil llano de la ruta, frente al mixto de la ruta Zaragoza – Madrid dónde los consumos son más elevados.

Por otro lado, se observa como los consumos de la pila de combustible en kilogramos por cada cien kilómetros y por tonelada útil desplazada son los más bajos si los comparamos con los del resto de combustibles en ambas rutas.

5.4 Análisis de emisiones

Con los resultados obtenidos para cada uno de los sistemas de propulsión y a partir de los datos que proporciona el Ministerio de Transición Ecológica (MITECO) dentro de la categoría “camiones y autobuses (N2, N3)” de la Opción A.1 del transporte por carretera. Se obtiene un factor de emisión de los principales GEI para cada tipo de combustible del año anterior (2023).

Es necesario mencionar que el análisis de emisiones que se lleva a cabo es del tipo “Tank to Wheels (TtW)”⁴² o del tanque a las ruedas y no del “Wheel to wheels (WtW)” o del pozo a las ruedas. Considerando las emisiones generadas en el trayecto de la ruta, sin tener en cuenta las emisiones generadas para tener dichas fuentes de energía.

De esta manera se puede comparar las diferentes configuraciones de los sistemas de propulsión a nivel medioambiental. Para llevar a cabo la comparación, se van a calcular lo kilogramos de dióxido de carbono que se emiten en cada una de las rutas, utilizando los datos del MITECO.

Uno de los puntos es que el sistema de propulsión eléctrica no genera ninguna emisión de dióxido de carbono, al igual que el uso del hidrógeno como combustible,

⁴² La Asociación de Fabricantes y Distribuidores (AECOC) *Guía de cálculo de la huella de carbono del transporte de mercancías por carretera (2017)*. (agosto 2024)

tanto en fase gaseosa como líquida. Por lo que a nivel medioambiental son las configuraciones más adecuadas, ya que no generan ninguna huella de carbono.

Los resultados de las emisiones son las siguientes:

Zaragoza - Madrid

Tabla 23. Emisiones de CO₂. Ruta: Zaragoza - Madrid

Combustible	<i>l</i>	<i>kg</i>	<i>kgCO₂/l</i>	<i>kgCO₂/kg</i>	<i>kgCO₂</i>
Diésel	121.15	100.79	2.482		300.69
Biodiésel	130.92	109.98	2.407		315.14
HVO	126.50	98.50	0.138		17.45
GLP	229.08	128.28	1.652		378.44
GNL	238.89	102.96	-	2.716	279.64
GNC	649.65	102.96		2.716	279.64

Valencia – Barcelona

Tabla 24. Emisiones de CO₂. Ruta: Valencia - Barcelona

Combustible	<i>l</i>	<i>kg</i>	<i>kgCO₂/l</i>	<i>kgCO₂/kg</i>	<i>kgCO₂</i>
Diésel	107.60	89.52	2.482		267.06
Biodiésel	116.28	97.68	2.407		279.90
HVO	112.35	87.48	0.138		15.50
GLP	203.46	113.93	1.652		336.12
GNL	212.17	91.44	-	2.716	248.37
GNC	576.99	91.44		2.716	248.37

Los resultados obtenidos nos permiten conocer los kilogramos de dióxido de carbono por sistema de propulsión en cada ruta, lo que es interesante de cara a las nuevas restricciones que se van a aplicar en la legislación del transporte de mercancías terrestres en función de los kilogramos de CO₂ emitidos en cada trayecto.

Los valores de emisiones del diésel, que es la configuración que menos consume, en cuanto a emisiones es una de las que más kilogramos de CO₂ emite. Mientras que configuraciones de consumo similares como el biodiésel y el HVO, generan menos

emisiones. En particular el HVO con tan sólo 17.45 kgCO₂ y 15.50 kgCO₂ en las rutas definidas.

En cuanto al GLP sus emisiones son las más elevadas con 378.44kgCO₂ y 336.12 kgCO₂ respectivamente. Mientras que las del gas natural si se comparan con el diésel los valores son menores e incluso con el biodiésel.

5.5 Análisis económico

Una vez conocidos los datos de consumo y de emisiones de ambas rutas, para cada sistema de propulsión. Se realiza el cálculo económico, de cara a conocer el coste del trayecto en función de cada sistema de propulsión. Para ello se tiene en cuenta el coste medio de cada combustible y electricidad en el año 2024 y el coste de las emisiones de dióxido de carbono.

Los resultados son los siguientes:

Zaragoza - Madrid

Tabla 25. Costes de trayecto. Ruta: Zaragoza - Madrid

Combustible	€/l	€/kg	€/kWh	$\frac{€}{100km}$	€
Diésel	1.515			57	183.54
Biodiésel	1.6			65.05	209.48
HVO	1.865			73.26	235.92
GLP	0.929			66.09	212.81
GNL		3.51		112.39	361.92
GNC		1.25		40.03	128.91
Hidrógeno gas		5.7		70.66	227.54
Hidrógeno líquido	0.40			70.66	227.54
Batería			0.096	16.63	53.57
Pila de combustible		5.7		43.05	138.60

Los resultados obtenidos tras el cálculo del coste del trayecto, indica que la configuración con mayor coste por cada cien kilómetros es el GNL frente a la

propulsión eléctrica por baterías que es la menor. Mientras que el diésel es la configuración de combustibles con menor coste de trayecto.

Valencia – Barcelona

Tabla 26. Costes de trayecto. Ruta: Valencia - Barcelona

Combustible	€/l	€/kg	€/kWh	€/100km	€
Diésel	1.515			44.41	163.015
Biodiésel	1.6			50.69	186.05
HVO	1.865			57.09	209.53
GLP	0.929			51.50	189.01
GNL		3.51		87.58	321.44
GNC		1.25		31.19	114.49
Hidrógeno gas		5.7		55.06	202.10
Hidrógeno líquido	0.40			55.06	202.10
Batería			0.096	13.24	48.60
Pila de combustible		5.7		34.14	125.29

Al igual que ocurre en la ruta Zaragoza – Madrid, en esta la configuración con mayor coste por cien kilómetros es el GNL frente a la propulsión eléctrica por baterías. En cuanto a los combustibles el diésel sigue siendo la configuración más barata.

Otro de los puntos que se desarrolla en este apartado es analizar la evolución del coste del trayecto en función del precio medio anual de cada sistema de propulsión. Para ello se toman los valores de los precios medios anuales desde 2020 hasta 2024.

Zaragoza – Madrid

Tabla 27. Evolución de los costes de trayecto desde el 2020. Ruta: Zaragoza - Madrid

Combustible	2020 [€]	2021 [€]	2022 [€]	2023 [€]	2024 [€]
Diésel	130.35	151.31	218.31	189.23	183.54
Biodiésel	164.97	145.33	183.30	219.96	209.48
HVO	180.39	202.27	272.23	241.87	235.92
GLP	164.94	152.34	196.11	233.41	212.81
GNL	257.05	298.37	430.48	373.15	361.92

GNC	82.37	113.26	226.52	114.49	128.91
Hidrógeno gas	436.13	417.17	360.28	303.39	227.54
Hidrógeno líquido	436.13	417.17	360.28	303.39	227.54
Batería	6.98	20.54	41.59	17.18	16.63
Pila de combustible	265.66	254.10	219.45	184.80	138.60

Valencia – Barcelona

Tabla 28. Evolución de los costes de trayecto desde el 2020. Ruta: Valencia - Barcelona

Combustible	2020 [€]	2021 [€]	2022 [€]	2023 [€]	2024 [€]
Diésel	115.77	134.39	193.89	168.07	163.01
Biodiésel	146.52	129.07	162.80	195.36	186.05
HVO	160.21	179.65	241.78	214.81	209.53
GLP	146.49	135.30	171.52	207.32	189.01
GNL	228.30	265.00	382.34	331.42	321.44
GNC	73.15	100.59	201.18	101.69	114.49
Hidrógeno gas	387.35	370.51	319.99	269.46	202.10
Hidrógeno líquido	387.35	370.51	319.99	269.46	202.10
Batería	5.56	16.35	33.10	13.68	13.24
Pila de combustible	240.15	229.71	198.39	167.06	125.29

Los resultados obtenidos a través de la herramienta muestran una tendencia positiva desde el año 2020 hasta el año 2023, donde se obtienen sus valores máximos para luego empezar una tendencia negativa. Todo ello coincide con la pandemia y la guerra de Ucrania. Por el contrario, el hidrógeno desde el año 2020 muestra una tendencia negativa, abaratándose su precio cada año que pasa. Esto es debido a que inicialmente los procesos para la obtención de hidrógeno verde eran elevados y cada año que ha pasado se han mejorado las técnicas y como consecuencia ha disminuido su coste.

Con esta información se puede visualizar la influencia de la fluctuación de los precios en el mundo del transporte en los últimos años. Y permite realizar simulaciones a futuro de cara a la evolución de esos precios.

Las nuevas normativas que se van a introducir en los próximos años para vehículos pesados industriales de transporte de mercancías van a suponer un coste adicional al coste del trayecto. Por lo que se considera interesante prever el coste adicional que ello puede suponer en las configuraciones que generan emisiones de dióxido de carbono. Al conocer las emisiones de cada sistema de propulsión, se calcula el coste que supone cada tonelada de dióxido de carbono que se emite a la atmósfera. Dado que aún no se conocen las tasas por tonelada emitida de dióxido de carbono, se van a utilizar los datos⁴³ de 2023 de una comercializadora de dióxido de carbono de cara a simular dichas tasas.

Los resultados son los siguientes:

Zaragoza – Madrid

Tabla 29. Costes de las toneladas de CO₂ emitidas. Ruta: Zaragoza - Madrid

Combustible	€/t CO ₂	t CO ₂	€
Diésel	83.5	0.30	25.10
Biodiésel	83.5	0.315	26.31
HVO	83.5	0.01	1.45
GLP	83.5	0.37	31.6
GNL	83.5	0.27	23.35
GNC	83.5	0.27	23.5

Valencia – Barcelona

Tabla 30. Costes de las toneladas de CO₂ emitidas. Ruta: Valencia - Barcelona

Combustible	€/t CO ₂	t CO ₂	€
Diésel	83.5	0.26	22.30
Biodiésel	83.5	0.27	23.37
HVO	83.5	0.01	1.29
GLP	83.5	0.33	28.06
GNL	83.5	0.24	20.73
GNC	83.5	0.24	20.73

⁴³ SendeCO₂. Precios CO₂. <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2> (noviembre 2024)

En ambas rutas se puede apreciar como el GLP es el combustible con mayor penalización por las emisiones de CO₂ frente al HVO, que apenas genera emisiones de toneladas de dióxido de carbono y por lo tanto su coste por emisiones es el inferior. En cuanto a los costes de emisiones del gas natural son menores que las del diésel y el biodiésel. Mientras que las del biodiésel los costes de emisiones son mayores que las del diésel.

Una vez que se ha valorado por separado los costes de trayecto y los costes de emisión. Se muestra a continuación los resultados de los costes totales, que incluyen ambos.

De esta manera se puede observar el coste total que supone una ruta seleccionada en función de la configuración del sistema de propulsión.

Zaragoza – Madrid

Tabla 31. Costes totales. Ruta: Zaragoza - Madrid

Combustible	Coste trayecto [€]	Coste emisiones [€]	Coste total [€]	Coste tonelada transportada [€/t]	Porcentaje sobre el coste diésel [%]
Diésel	183.54	25.10	208.65	8.34	
Biodiésel	209.48	26.31	235.80	9.43	13.01
HVO	235.92	1.45	237.38	9.49	13.77
GLP	212.81	31.60	244.42	9.77	17.14
GNL	361.92	23.35	385.37	15.41	84.65
GNC	128.91	23.35	152.26	6.09	-27.03
Hidrógeno gas	227.54		227.54	9.10	9.06
Hidrógeno liquido	227.54		227.54	9.10	9.06
Batería	53.57		53.57	3	-74.32
Pila de combustible	138.60		138.60	6.16	-33.57

En los resultados también se refleja el coste de cada configuración con respecto al diésel, al ser hoy en día el combustible por excelencia para los transportes de mercancías por carretera.

Valencia – Barcelona

Tabla 32. Costes totales. Ruta: Valencia – Barcelona

Combustible	Coste trayecto [€]	Coste emisiones [€]	Coste total [€]	Coste tonelada transportada [€/t]	Porcentaje sobre el coste diésel [%]
Diésel	163.01	22.30	185.31	7.41	
Biodiésel	186.05	23.37	209.42	8.37	13.01
HVO	209.53	1.29	210.83	8.43	13.77
GLP	189.01	28.06	217.04	8.68	17.14
GNL	321.44	20.73	342.18	13.68	84.65
GNC	114.49	20.73	135.23	5.40	-27.03
Hidrógeno gas	202.10		202.10	8.08	9.06
Hidrógeno liquido	202.10		202.10	8.08	9.06
Batería	48.60		48.60	2.73	-73.77
Pila de combustible	125.29		125.29	5.56	-32.39

Los resultados obtenidos indican que en ambas rutas el menor coste se realiza con la configuración del sistema de propulsión eléctrico de baterías, con una gran diferencia respecto al resto. Aunque la configuración de pila de combustible es la que más se acerca, su coste es más del doble.

Si sólo se tienen en cuenta los combustibles para un motor térmico, se observa que el menor coste se realiza con el GNC en ambas rutas.

Estos resultados muestran valores, sin tener en cuenta el desarrollo de la tecnología para llevar a cabo dichos trayectos, ya que únicamente se está evaluando el balance energético de cada una de las configuraciones. Por lo que a la hora de gestionar la información que nos ofrece la herramienta es importante tener en cuenta otros

aspectos como la evolución de cada configuración en vehículos pesados industriales de transporte, autonomía de los depósitos en cada configuración, los tiempos de repostaje, las leyes que marcan los tiempos del tacógrafo, los conductores disponibles, entre otras variables que pueden existir a la hora de seleccionar el transporte de mercancías por carretera.

5.6 Definición de escenarios

Tras evaluar las rutas seleccionadas a través de la herramienta de cálculo que nos ha permitido obtener datos de consumo, emisiones de CO₂ y costes económicos relacionados con el trayecto y las emisiones. La herramienta también nos permite realizar diferentes previsiones en función de los precios unitarios de cada uno de los sistemas de propulsión y del coste de emisión de kilogramos de dióxido de carbono, entre otras opciones. Ya que también se podrían variar datos como el coeficiente de rodadura, coeficiente aerodinámico, entre otros.

En el trabajo se definen los siguientes escenarios, de cara a demostrar que la información que muestra la herramienta permite tener información sobre la ruta para tener la capacidad de tomar decisiones sobre las rutas y evaluar la elección de una flota nueva o la elección de los camiones en función de la flota que disponga el operador logístico.

Para llevar a cabo las simulaciones en los escenarios, únicamente se va a utilizar la ruta Zaragoza – Madrid.

5.6.1 Escenario 1

En este primer escenario se va a suponer que el vehículo industrial pesado transporta el 50% de su capacidad de carga. Ya que en ciertas ocasiones la mercancía a transportar puede ser muy voluminosa, pero de bajo peso por lo que el vehículo industrial va completamente cargado, pero no al 100% de su capacidad de carga.

Dónde los resultados son los siguientes:

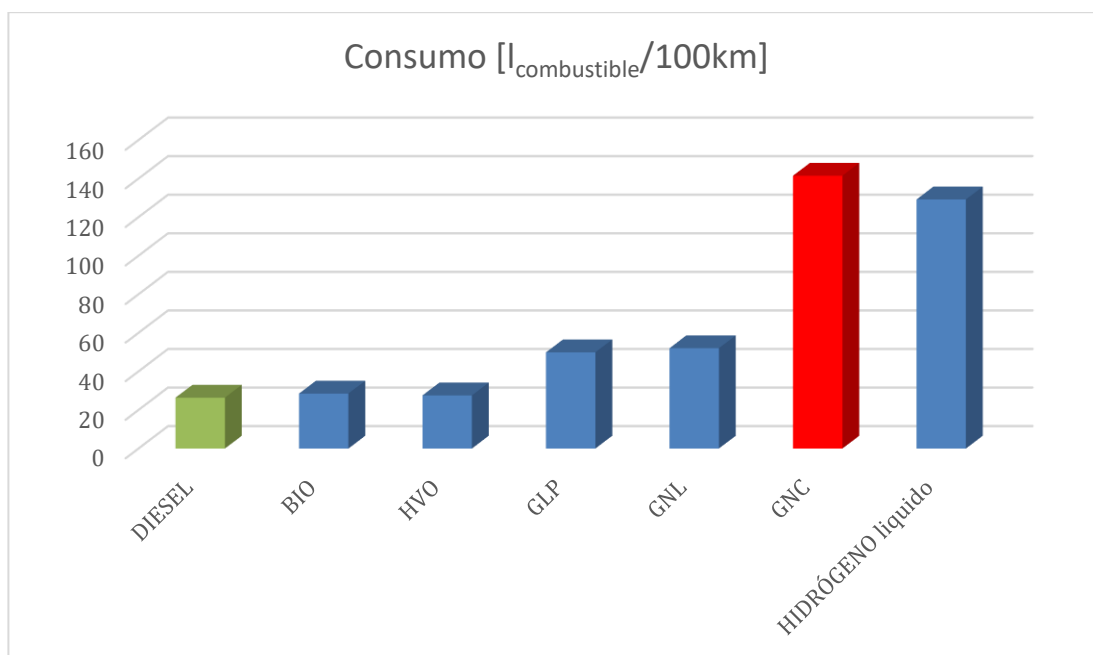
Consumo

Tabla 33. Resultado de los consumos. Escenario 1

Combustible	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{t}]$
Diésel	26.38	6.79	21.95	5.65
Biodiésel	28.51	7.34	23.95	6.17
HVO	27.55	7.09	21.45	5.52
GLP	49.89	12.85	27.94	7.19
GNL	52.03	13.04	22.42	5.77
GNC	141.50	36.45	22.42	5.77
Hidrógeno gas	96721.01	24915.33	8.69	2.23
Hidrógeno líquido	122.81	31.63	8.69	2.23

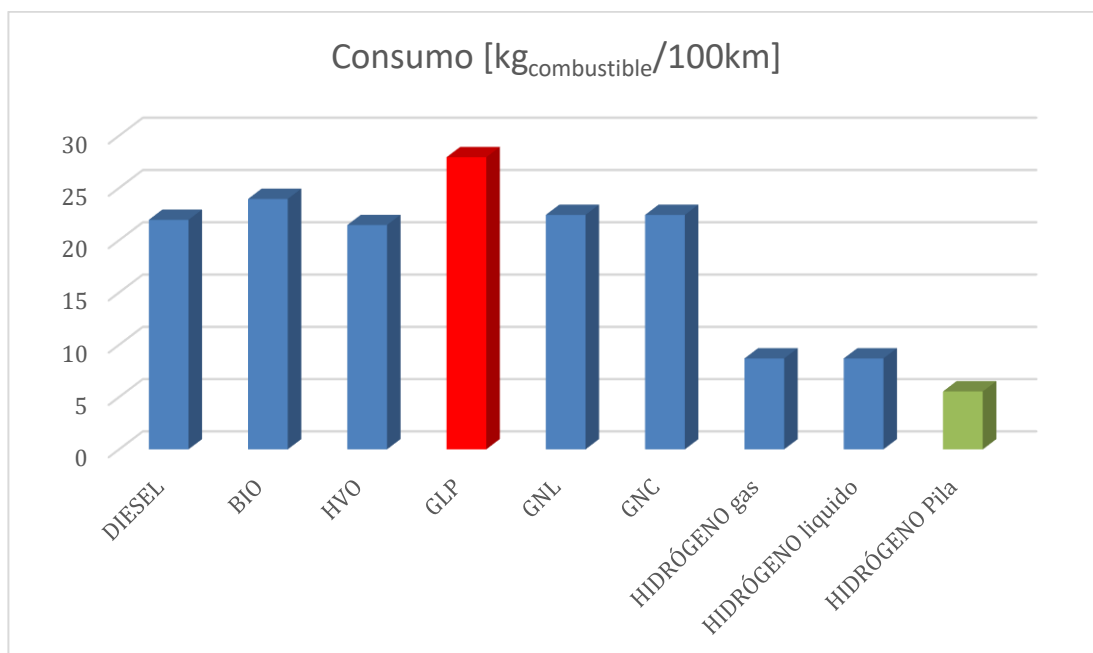
Fuente de energía	$E_{consumida} [kWh]$	$E_{recuperada} [kWh]$	$E_{total} [kWh]$	$E_{total} [\frac{kWh}{t}]$
Batería	451.64	10.19	441.44	49.60

Fuente de energía	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{t}]$
Pila de combustible	61655.14	17647.07	5.54	1.58



Gráfica 5. Consumo de los litros de combustible a los cien kilómetros. Escenario 1.

En cuanto a consumo, se observa que por litros por tonelada útil desplazada el diésel es la configuración con menor consumo, seguida por el biodiésel y el HVO. Por el contrario, los valores en cuanto a kilogramos por tonelada útil desplazada, la configuración de propulsión eléctrica por pila de combustible de hidrógeno es la que ofrece menor consumo.



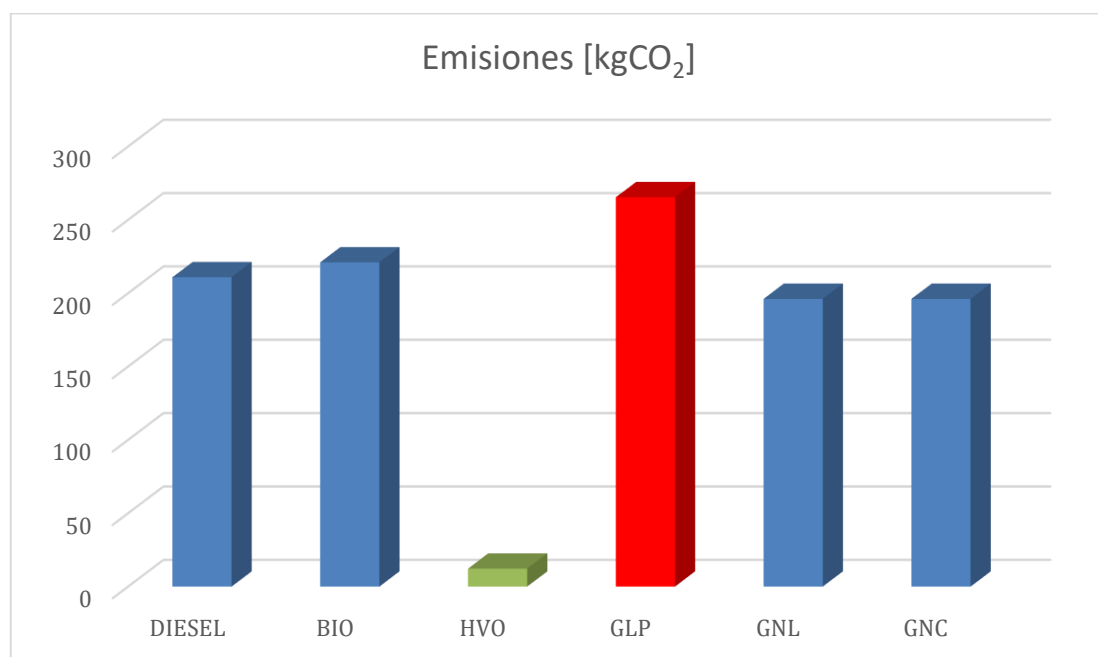
Gráfica 6. Consumo de los kilogramos de combustible a los cien kilómetros. Escenario 1.

Emisiones

Tabla 34. Resultado de las emisiones. Escenario 1

Combustible	<i>l</i>	<i>kg</i>	$kgCO_2/l$	$kgCO_2/kg$	$kgCO_2$
Diésel	84.96	70.69	2.482		210.89
Biodiésel	91.82	77.13	2.407		221.02
HVO	88.72	69.08	0.138		12.24
GLP	160.66	89.97	1.652		265.42
GNL	167.54	72.21	-	2.716	196.13
GNC	455.63	72.21		2.716	196.13

Los valores de emisiones obtenidos en el escenario muestran como el GLP es el combustible que más emisiones de CO₂ emite, frente al HVO que es el que muestra el valor menor.

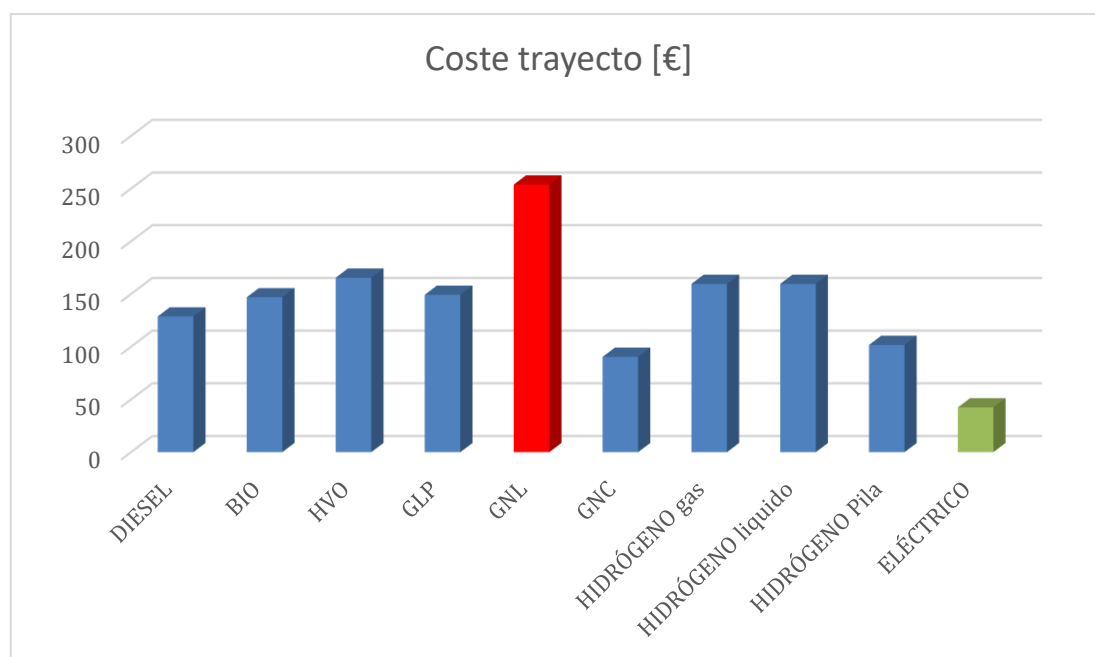


Gráfica 7. Emisiones. Escenario 1.

Costes

Tabla 35. Resultado de los costes. Escenario 1

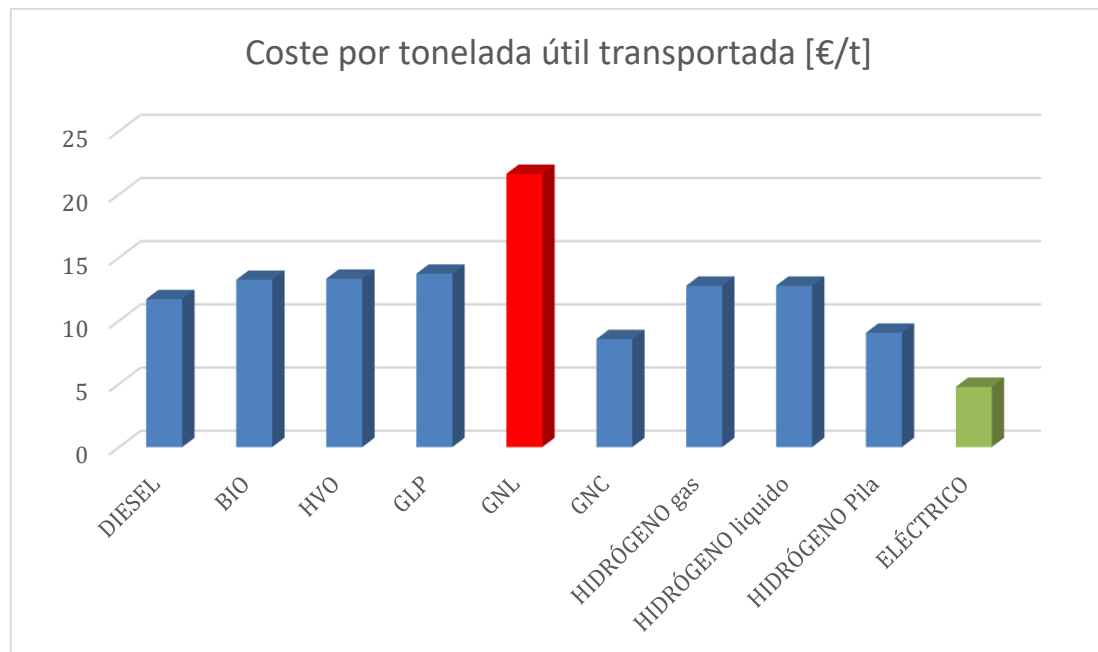
Combustible	Coste trayecto [€]	Coste emisiones [€]	Coste total [€]	Coste tonelada transportada [€/t]	Porcentaje sobre el coste diésel [%]
Diésel	128.72	17.60	146.33	11.70	
Biodiésel	146.92	18.45	165.37	13.23	13.01
HVO	165.46	1.02	166.48	13.31	13.77
GLP	149.26	22.16	171.42	13.71	17.14
GNL	253.83	16.37	270.21	21.61	84.65
GNC	90.41	16.37	106.78	8.54	-27.03
Hidrógeno gas	159.59		159.59	12.76	9.06
Hidrógeno liquido	159.59		159.59	12.76	9.06
Batería	42.43		42.43	4.76	-71
Pila de combustible	101.73		101.73	9.04	-30.48



Gráfica 8. Coste del trayecto. Escenario 1.

Finalmente, los costes que refleja la herramienta para el cálculo indican que la configuración eléctrica es la opción con un coste total menor. Frente al GNL que es la

configuración más cara. Además, se observa que, con menor carga transportada, la diferencia entre la propulsión eléctrica y el diésel se reduce.



Gráfica 9. Coste por tonelada útil transportada.

Esto es debido a que el coste por tonelada útil transportada ha variado para cada configuración, incrementándose en un 40% en la configuración diésel frente a un 58.66% en la configuración eléctrica a baterías. Lo que se traduce en que el transporte de toneladas útil es más rentable cuanto más toneladas útiles se transportan.

5.6.2 Escenario 2

En este siguiente escenario se va a suponer que el vehículo industrial pesado transporta el 25% de su capacidad de carga. Es un escenario llevado más al extremo que el Escenario 1, dónde se puede observar si los costes de transporte son demasiados altos por tonelada útil transportada o se puede buscar otra alternativa.

Dónde los resultados son los siguientes:

Consumo

Tabla 36. Resultado de los consumos. Escenario 2

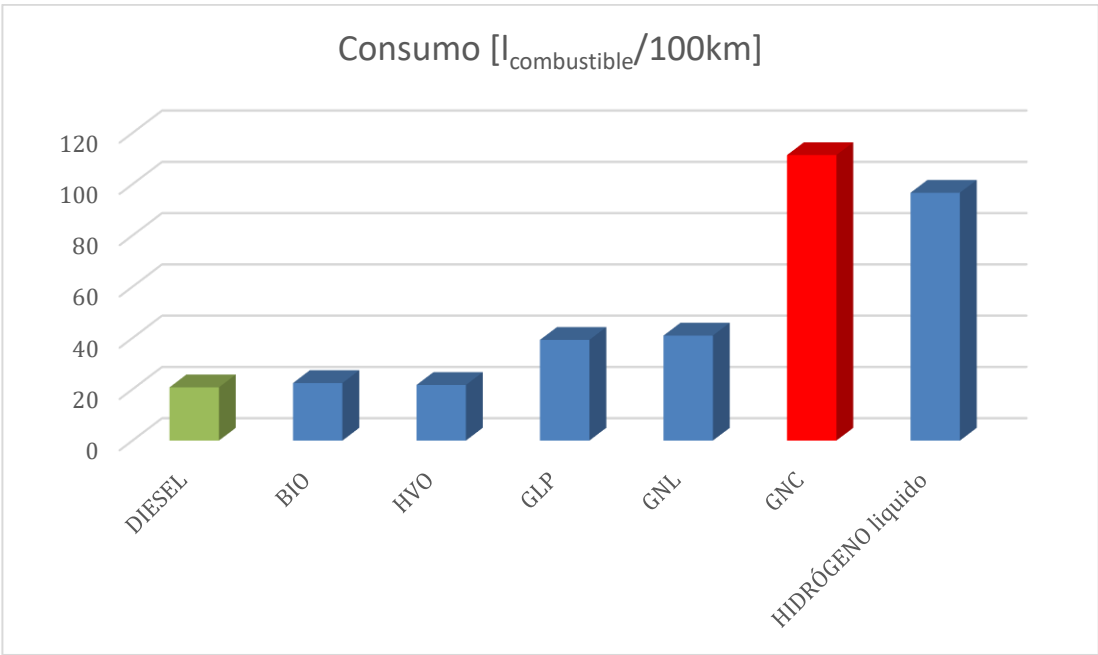
Combustible	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{t}]$
Diésel	20.77	10.70	17.28	8.90
Biodiésel	22.44	11.56	18.85	9.71
HVO	21.68	11.17	16.88	8.70
GLP	39.27	20.23	21.99	11.33
GNL	40.95	21.10	17.65	9.09
GNC	111.38	57.38	17.65	9.09
Hidrógeno gas	76133.09	39223.77	6.84	3.52
Hidrógeno líquido	96.67	49.80	6.84	3.52

Fuente de energía	$E_{consumida} [kWh]$	$E_{recuperada} [kWh]$	$E_{total} [kWh]$	$E_{total} [\frac{kWh}{t}]$
Batería	392.13	8.58	383.55	86.19

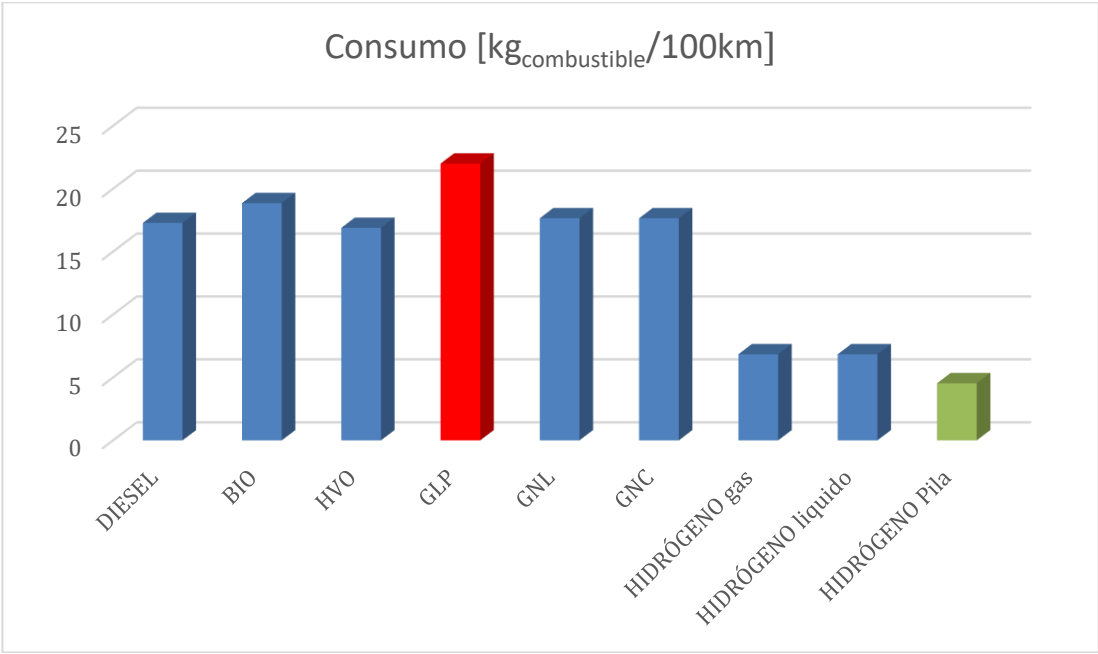
Fuente de energía	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{t}]$
Pila de combustible	50485.08	28899.9	4.53	2.59

En cuanto a consumo, se observa que por litros por tonelada útil desplazada el diésel es la configuración con menor consumo, seguida por el biodiésel y el HVO. Por el contrario, los valores en cuanto a kilogramos por tonelada útil desplazada, la

configuración de propulsión eléctrica por pila de combustible de hidrógeno es la que ofrece menor consumo, tal y como se refleja en las siguientes gráficas.



Gráfica 10. Consumo de los litros de combustible a los cien kilómetros. Escenario 2.



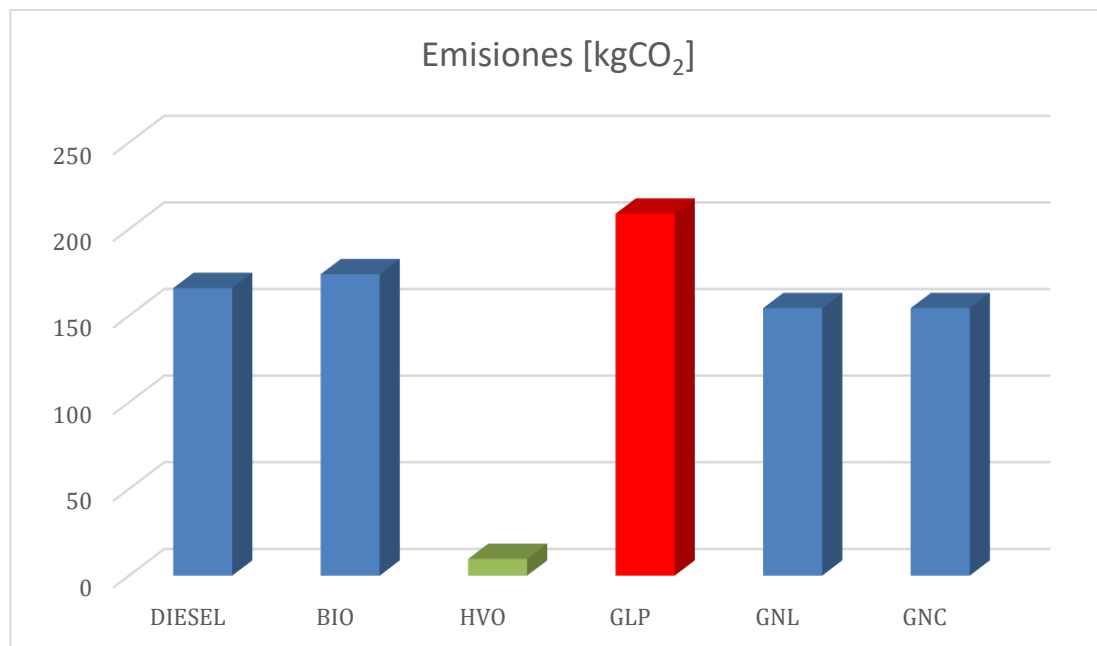
Gráfica 11. Consumo de kilogramos de combustible a los cien kilómetros. Escenario 2.

Emisiones

Tabla 37. Resultado de las emisiones. Escenario 2

Combustible	<i>l</i>	<i>kg</i>	<i>kgCO₂/l</i>	<i>kgCO₂/kg</i>	<i>kgCO₂</i>
Diésel	66.88	55.64	2.482		166.00
Biodiésel	72.28	60.71	2.407		173.98
HVO	69.83	54.38	0.138		9.63
GLP	126.46	70.82	1.652		208.92
GNL	131.88	56.84	-	2.716	154.38
GNC	358.64	56.84		2.716	154.38

Los valores de emisiones obtenidos en el escenario muestran como el GLP es el combustible que más emisiones de CO₂ emite, frente al HVO que es el que muestra el valor menor.



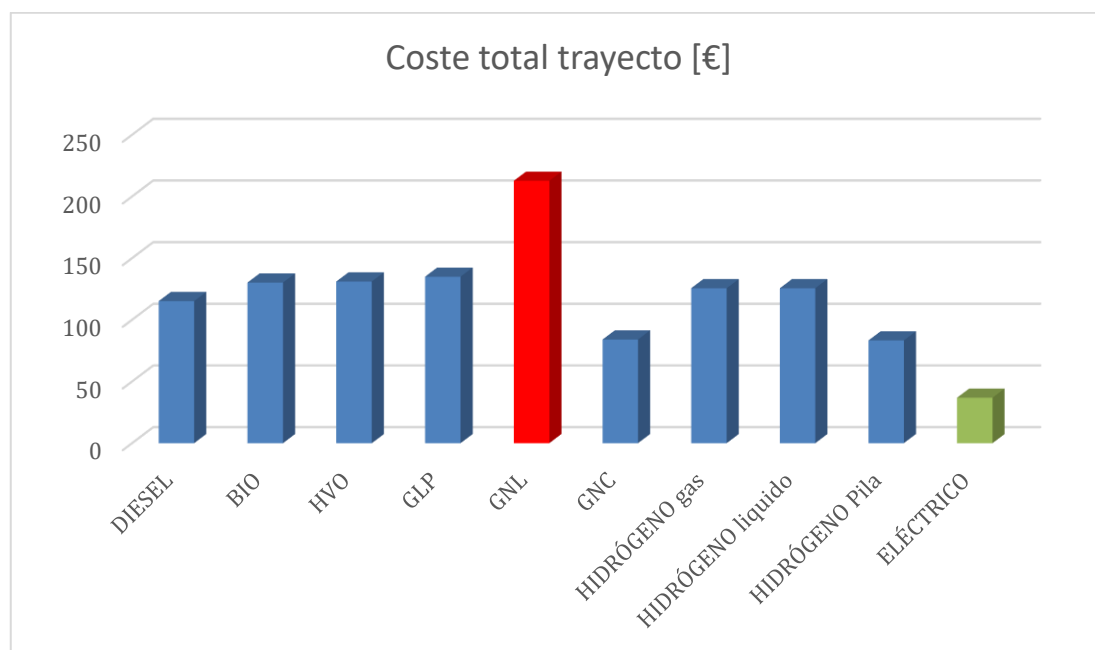
Gráfica 12. Emisiones. Escenario 2.

Costes

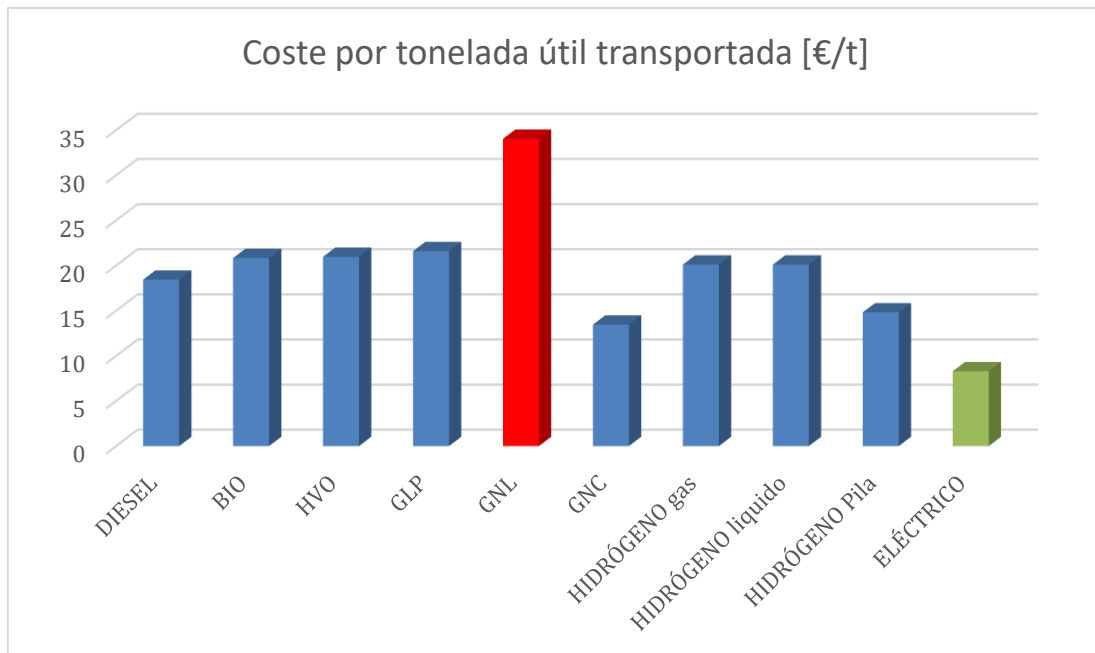
Tabla 38. Resultado de los costes. Escenario 2

Combustible	Coste trayecto [€]	Coste emisiones [€]	Coste total [€]	Coste tonelada transportada [€/t]	Porcentaje sobre el coste diésel [%]
Diésel	101.32	13.86	115.18	18.43	
Biodiésel	115.64	14.52	130.17	20.82	13.01
HVO	130.24	0.80	131.04	20.96	13.77
GLP	117.48	17.44	134.93	21.58	17.14
GNL	199.80	12.89	212.69	34.03	84.65
GNC	71.16	12.89	84.05	13.44	-27.03
Hidrógeno gas	125.62		125.62	20.09	9.06
Hidrógeno líquido	125.62		125.62	20.09	9.06
Batería	36.86		36.86	8.28	-67.99
Pila de combustible	83.30		83.30	14.80	-27.68

Los costes que se muestran confirman como a menor carga transportada la diferencia entre la propulsión eléctrica y el diésel se reduce ligeramente. Mientras se aumenta con el hidrógeno utilizado en motores de combustión.



Gráfica 13. Coste total del trayecto. Escenario 2.



Gráfica 14. Coste por tonelada útil transportada [€/t]. Escenario. 2

En cuanto a los costes por tonelada útil transportada, se reflejan los mismos resultados que los mostrados por la gráfica sobre el coste total del trayecto. Siendo el GNL el combustible con valores más altos frente a la configuración eléctrica.

5.6.3 Escenario 3

En este escenario se prevé un aumento considerable del precio del diésel, pasando a costar 2.5€/l, lo que supone un aumento del 65% con respecto al precio medio del año 2024. Y un endurecimiento en la tasa de los kilogramos de dióxido de carbono emitidos, pasando a costar 95€/TnCO₂.

Del mismo modo se considera una mejora en los rendimientos de los motores de Biodiésel y HVO al 50%.

Los resultados se muestran a continuación:

Consumo

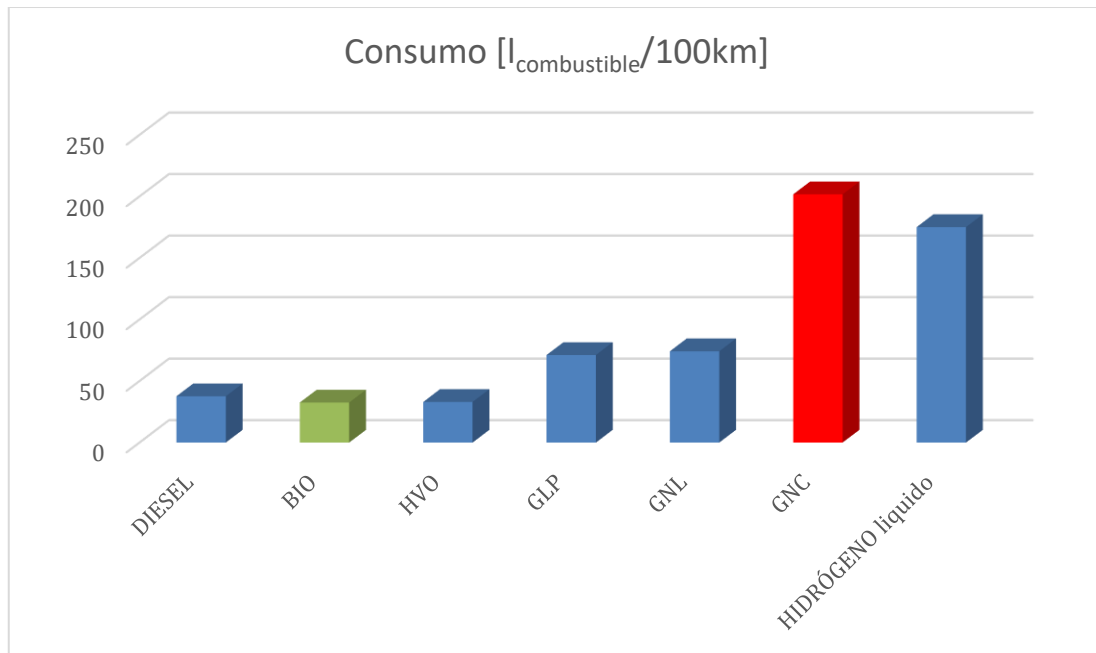
Tabla 39. Resultado de los consumos. Escenario 3

Combustible	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{t}]$
Diésel	37.62	4.84	31.30	4.03
Biodiésel	32.52	4.18	27.32	3.51
HVO	33.00	4.25	25.69	3.30
GLP	71.14	9.16	39.84	5.13
GNL	74.19	9.55	31.97	4.11
GNC	201.75	25.98	31.97	4.11
Hidrógeno gas	137907.01	17762.42	12.39	1.59
Hidrógeno líquido	175.11	22.55	12.39	1.59

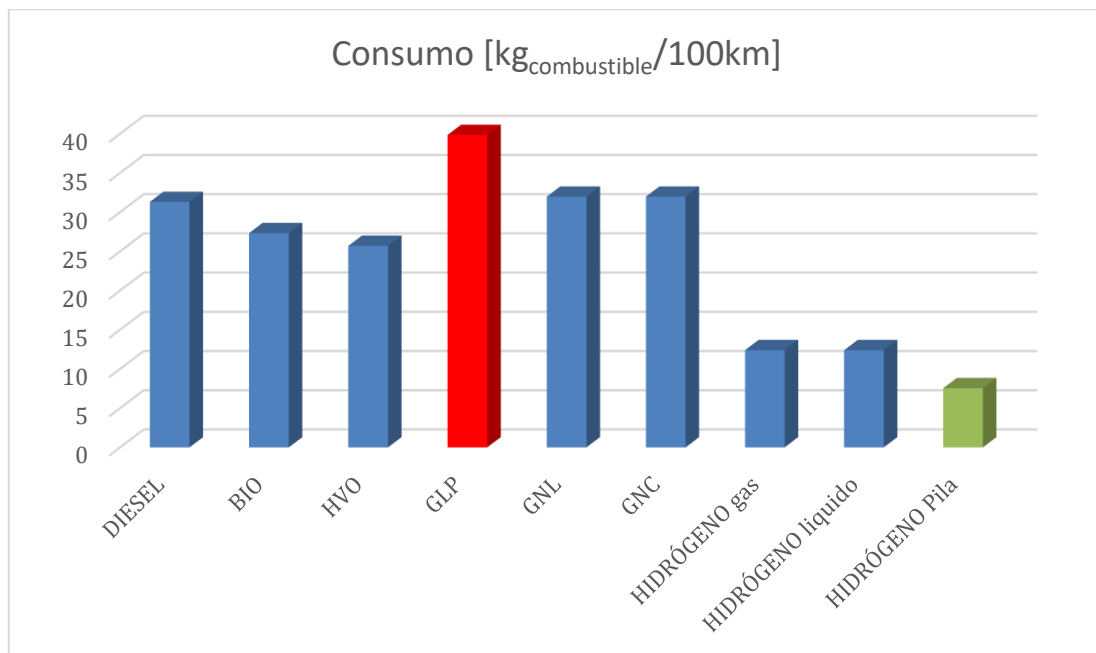
Fuente de energía	$E_{consumida} [kWh]$	$E_{recuperada} [kWh]$	$E_{total} [kWh]$	$E_{total} [\frac{kWh}{t}]$
Batería	570.75	13.42	557.32	31.31

Fuente de energía	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{t}]$
Pila de combustible	84001.97	12.021.61	7.55	1.08

Los resultados obtenidos, indican que la mejora de los rendimientos de los motores de las configuraciones biodiésel y HVO ha supuesto una reducción en el consumo de litros por cada cien kilómetros del 20% y del 16% respectivamente tal y como se puede observar en las siguientes gráficas.



Gráfica 15. Consumo de litros de combustible a los cien kilómetros. Escenario 3.



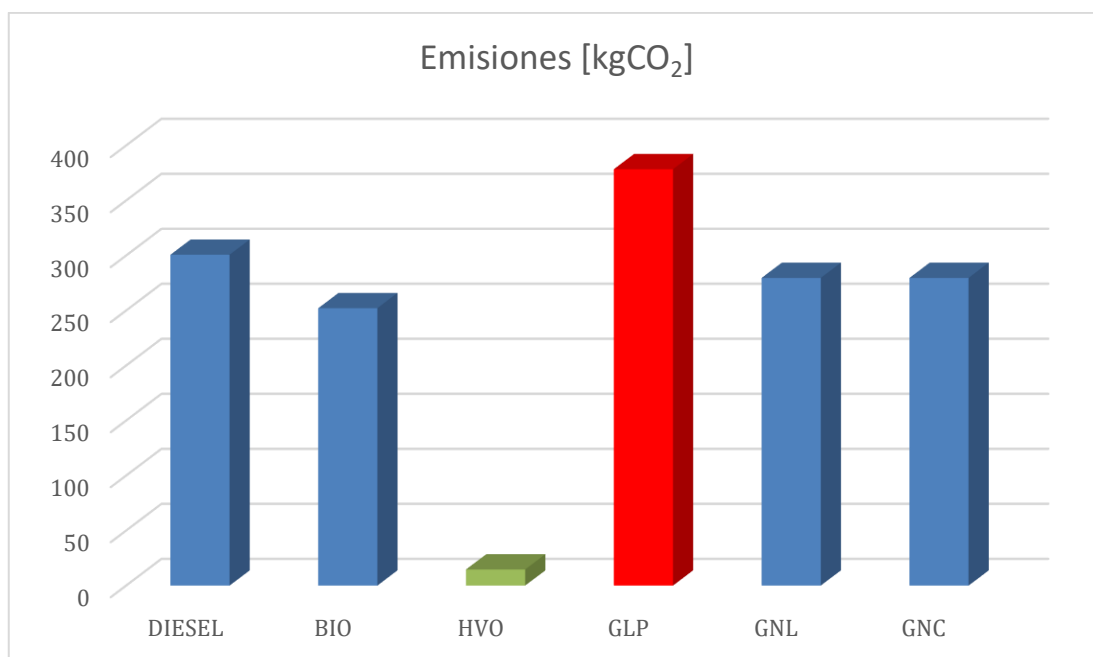
Gráfica 16. Consumo de kilogramos de combustible a los cien kilómetros. Escenario 3.

Emisiones

Tabla 40. Resultado de las emisiones. Escenario 3

Combustible	<i>l</i>	<i>kg</i>	<i>kgCO₂/l</i>	<i>kgCO₂/kg</i>	<i>kgCO₂</i>
Diésel	121.15	100.79	2.482		300.69
Biodiésel	104.74	87.98	2.407		252.11
HVO	106.26	82.74	0.138		14.66
GLP	229.08	128.28	1.652		378.44
GNL	238.89	102.96	-	2.716	279.64
GNC	649.65	102.96		2.716	279.64

Los valores de emisiones calculados reflejan la disminución de las emisiones de biodiésel y HVO, como motivo de la reducción del consumo. Esta reducción permite que el biodiésel emita menos kilogramos de CO₂ que el diésel y el HVO reducir aún más sus emisiones de dióxido de carbono. Tal y como refleja la siguiente gráfica.



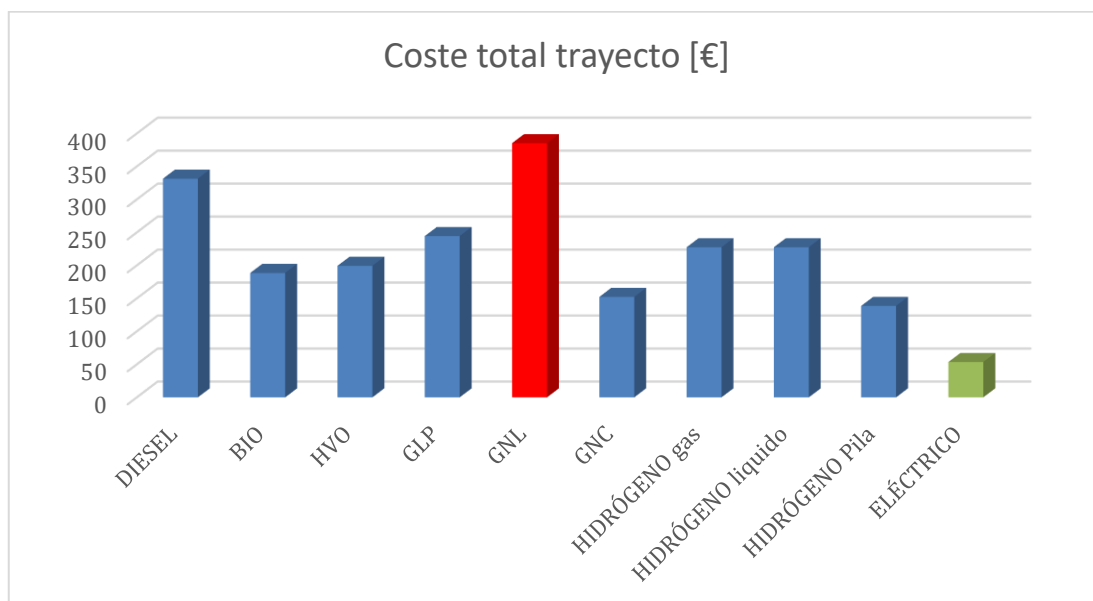
Gráfica 17. Emisiones. Escenario 3.

Costes

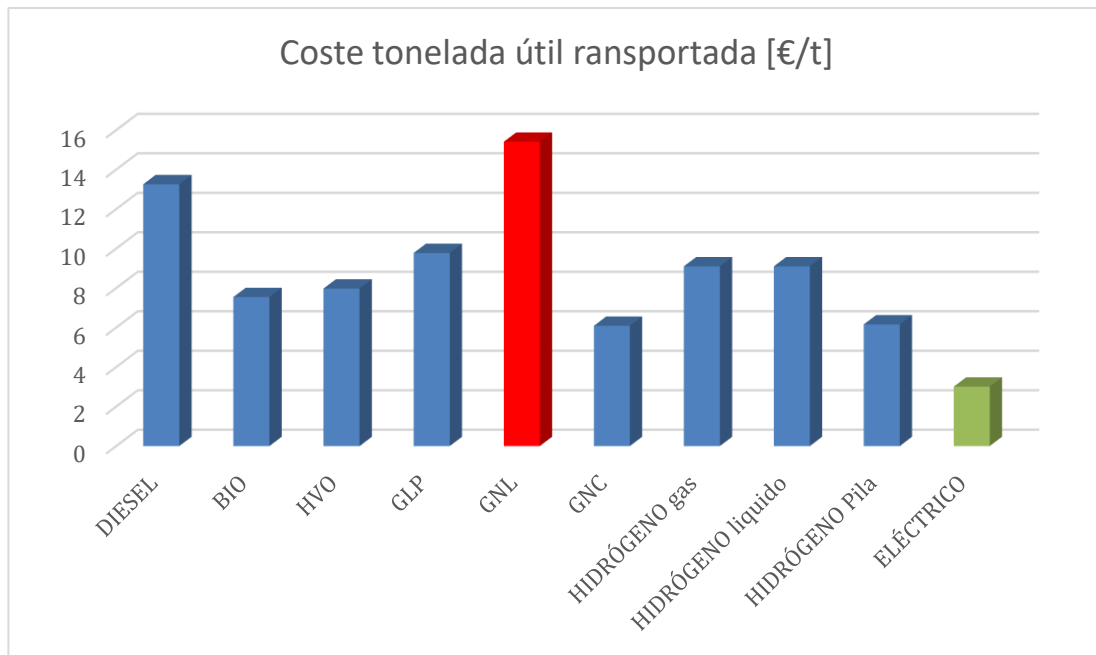
Tabla 41. Resultado de los costes. Escenario 3

Combustible	Coste trayecto [€]	Coste emisiones [€]	Coste total [€]	Coste tonelada transportada [€/t]	Porcentaje sobre el coste diésel [%]
Diésel	302.87	28.56	331.44	13.25	
Biodiésel	167.58	21.05	188.64	7.54	-43.08
HVO	198.17	1.22	199.40	7.97	-39.84
GLP	212.81	31.60	244.42	9.77	-26.26
GNL	361.92	23.35	385.27	15.41	16.24
GNC	128.91	23.35	152.26	6.09	-54.06
Hidrógeno gas	227.54		227.54	9.10	-31.35
Hidrógeno liquido	227.54		227.54	9.10	-31.5
Batería	53.57		53.57	3	-83.84
Pila de combustible	138.60		138.60	6.16	-58.18

En esta situación definida en el escenario 3, se observa como los valores del coste indican que el diésel ya no es la segunda opción si lo comparamos con los combustibles. Si no que se convierte en una de las peores opciones a nivel económico, dado que su coste se dispara frente a la propulsión eléctrica. La mejora de los rendimientos en el biodiésel y en el HVO permiten situarse como una alternativa muy potente a la utilización del diésel, según lo definido en este escenario.



Gráfica 18. Coste total del trayecto. Escenario 3.



Gráfica 19. Coste por tonelada útil transportada. Escenario 3

En esta última gráfica sobre el coste de la tonelada útil transportada, se observa que dentro de los combustibles la opción más barata es el GNC con un valor de 6.09 €/t. Mientras que la opción más rentable es el sistema eléctrico a baterías con un valor de 3€/t.

5.6.4 Escenario 4

En este escenario se simula una situación en la que el rendimiento del motor de la configuración del GLP alcanza el 40%. Similar a la del rendimiento del motor de la configuración diésel.

Consumo

Tabla 42. Resultado de los consumos. Escenario 4

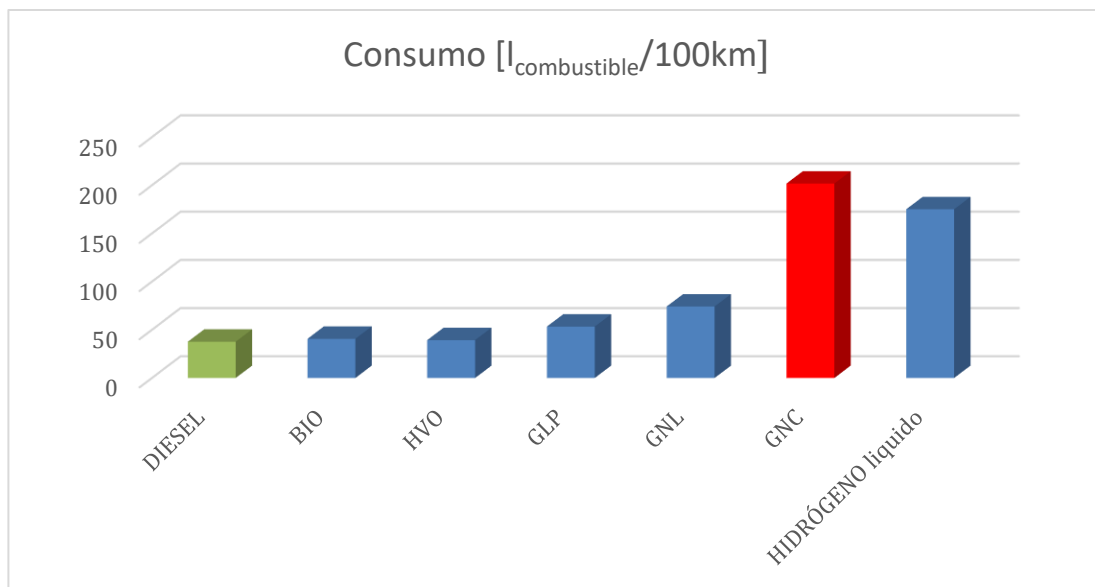
Combustible	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{t}]$
Diésel	37.62	4.84	31.30	4.03
Biodiésel	40.66	5.23	34.15	4.39
HVO	39.28	5.06	30.59	3.94
GLP	53.35	6.87	29.88	3.84
GNL	74.19	9.55	31.97	4.11
GNC	201.75	25.98	31.97	4.11
Hidrógeno gas	137907.01	17762.42	12.39	1.59
Hidrógeno líquido	175.11	22.54	12.39	1.59

Fuente de energía	$E_{consumida} [kWh]$	$E_{recuperada} [kWh]$	$E_{total} [kWh]$	$E_{total} [\frac{kWh}{t}]$
Batería	570.75	13.42	557.32	31.31

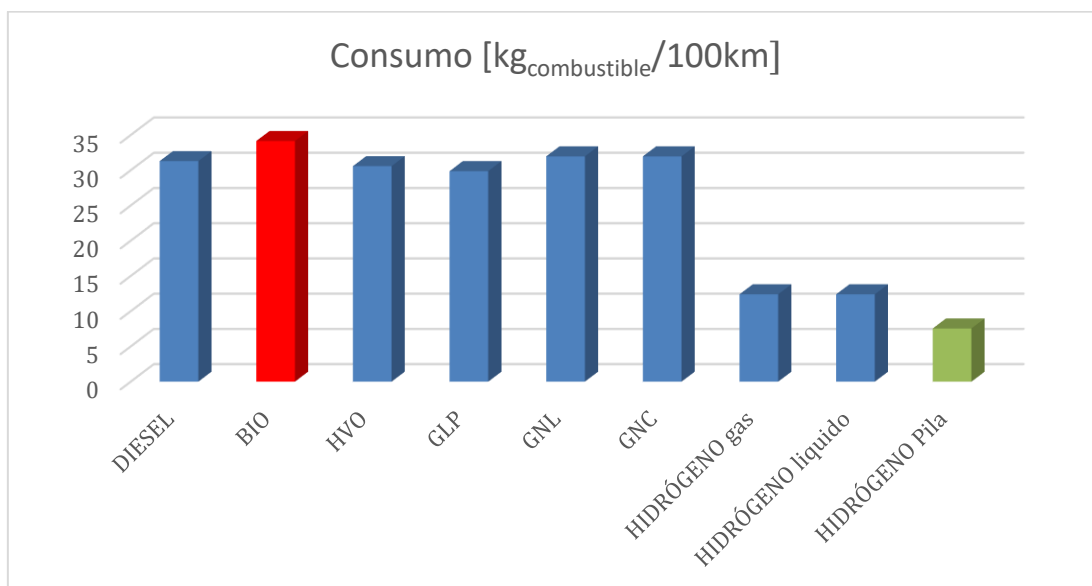
Fuente de energía	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{t}]$
Pila de combustible	84001.97	12021.61	7.55	1.08

Según los datos obtenidos, la mejora del rendimiento del motor de la configuración de GLP mejora sus resultados de consumo con respecto al diésel. Pero sigue siendo un 42% superior al diésel en litros por tonelada útil transportada.

En las siguientes gráficas, se observa como los valores de consumo para el GLP se han visto reducidos.



Gráfica 20. Consumo de litros de combustible a los cien kilómetros. Escenario 4.



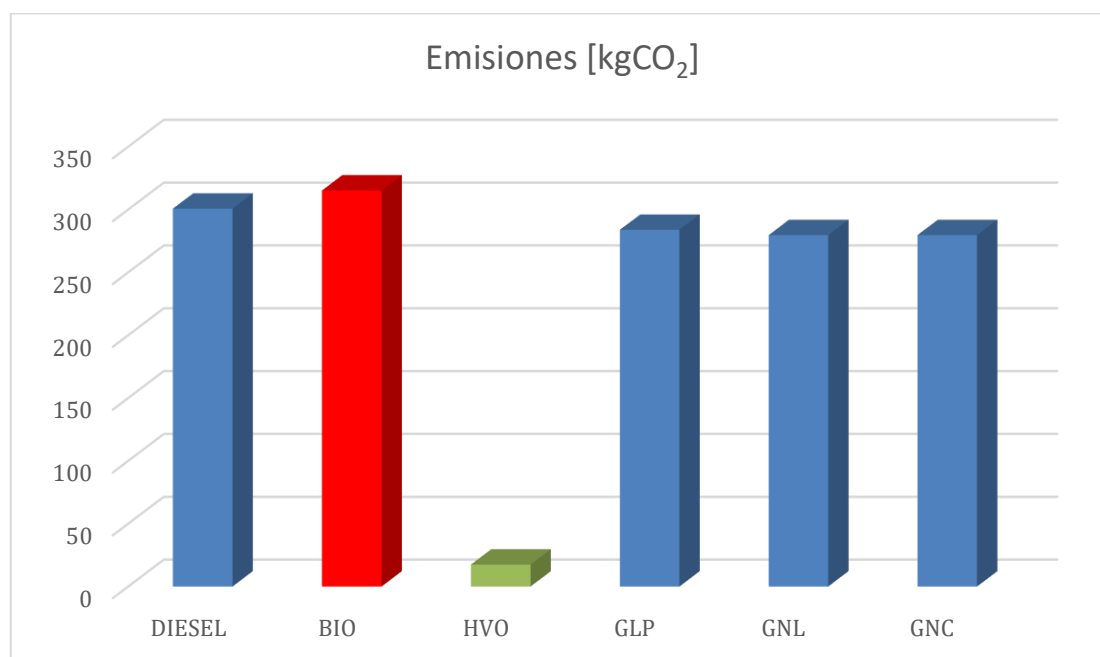
Gráfica 21. Consumo de kilos de combustible a los cien kilómetros. Escenario 4.

Emisiones

Tabla 43. Resultado de las emisiones. Escenario 4

Combustible	l	kg	$kgCO_2/l$	$kgCO_2/kg$	$kgCO_2$
Diésel	121.15	100.79	2.482		300.69
Biodiésel	130.92	109.98	2.407		315.14
HVO	126.50	98.50	0.138		17.45
GLP	171.81	96.21	1.652		283.83
GNL	238.89	102.96	-	2.716	279.64
GNC	649.65	102.96		2.716	279.64

En cuanto a las emisiones, la mejora en el rendimiento ha supuesto que el GLP no sea el combustible que más emisiones de CO₂ emite, pasando a ser el biodiésel. Tal y como se muestra en la siguiente gráfica.



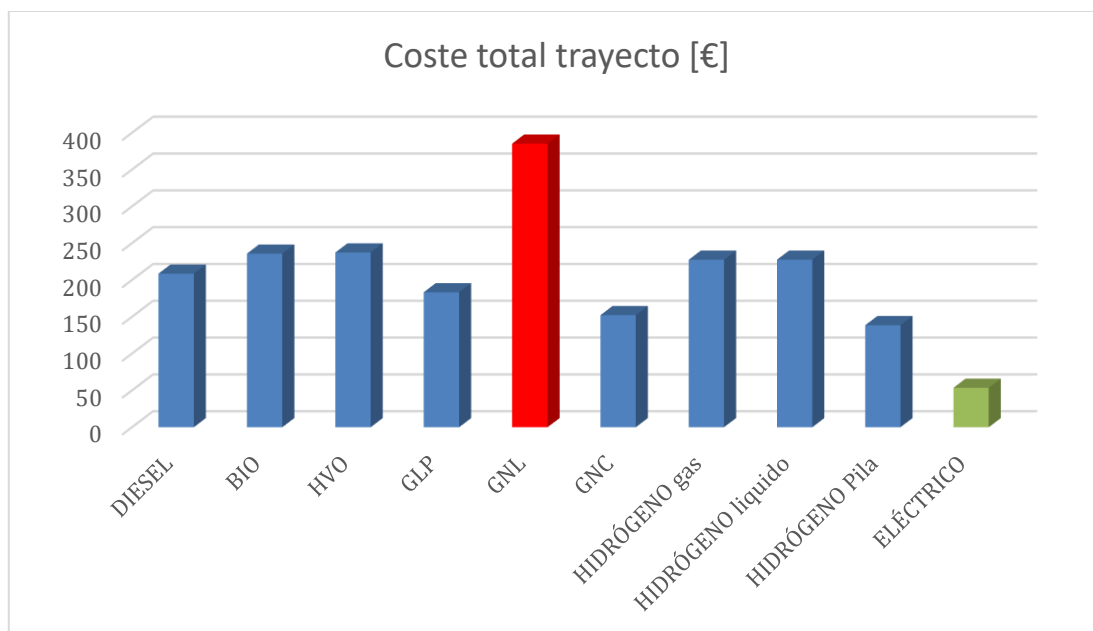
Gráfica 22. Emisiones. Escenario 4

Costes

Tabla 44. Resultado de los costes. Escenario 4

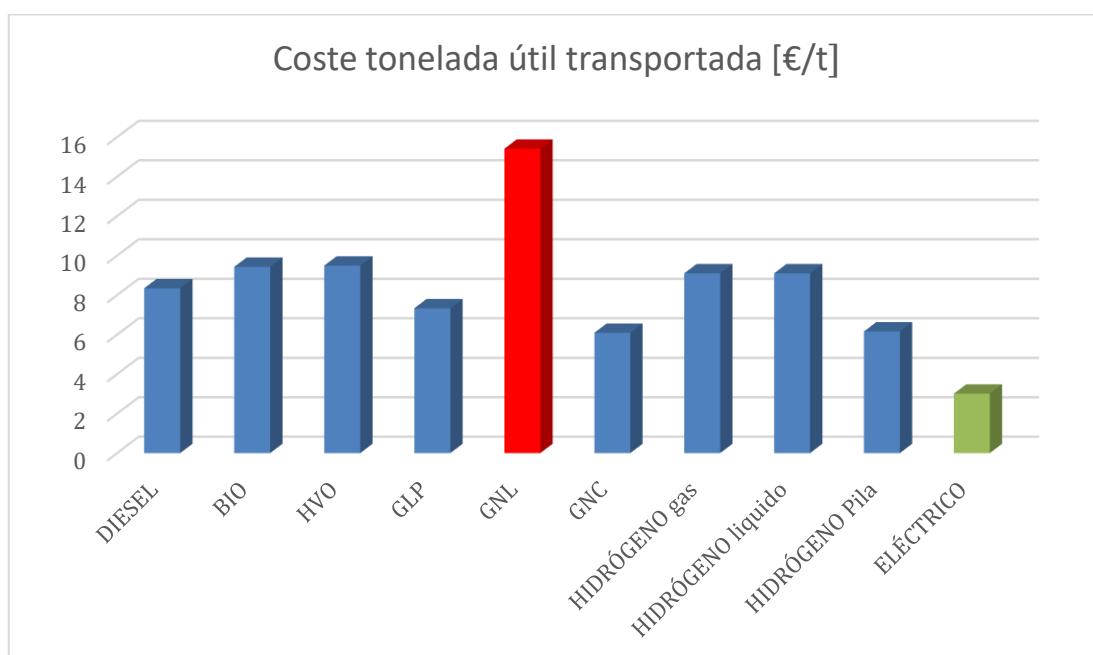
Combustible	Coste trayecto [€]	Coste emisiones [€]	Coste total [€]	Coste tonelada transportada [€/t]	Porcentaje sobre el coste diésel [%]
Diésel	183.54	25.10	208.65	8.34	
Biodiésel	209.48	26.31	235.80	9.43	13.01
HVO	235.92	1.45	237.38	9.49	13.77
GLP	159.61	23.7	183.31	7.33	-12.14
GNL	361.92	23.35	385.37	15.41	84.65
GNC	128.91	23.35	152.26	6.09	-27.03
Hidrógeno gas	227.54		227.54	9.10	9.06
Hidrógeno liquido	227.54		227.54	9.10	9.06
Batería	53.57		53.57	3	-74.32
Pila de combustible	138.60		138.60	6.16	-33.57

Según los costes que nos muestra la herramienta, la mejora del rendimiento de la configuración GLP ha supuesto un descenso notable en el coste, debido a que se ha reducido su consumo. Comparándolo con el diésel ha pasado a costar el trayecto un 17.14% más que en diésel a ser un 12.14% más barato que si la ruta se realizase con la configuración diésel.



Gráfica 23. Coste total del trayecto. Escenario 4

Los mismos resultados se reflejan en el coste por tonelada útil transportada



Gráfica 24. Coste tonelada útil transportada. Escenario 4.

5.6.5 Escenario 5

En este escenario se propone una reducción del precio del hidrógeno a 3.8€/kg, lo que supone una reducción del 33.33%. Unida a una mejora del rendimiento del motor térmico para su uso con hidrógeno hasta el 50%.

Los resultados se muestran a continuación:

Consumo

Tabla 45. Resultado de los consumos. Escenario 5

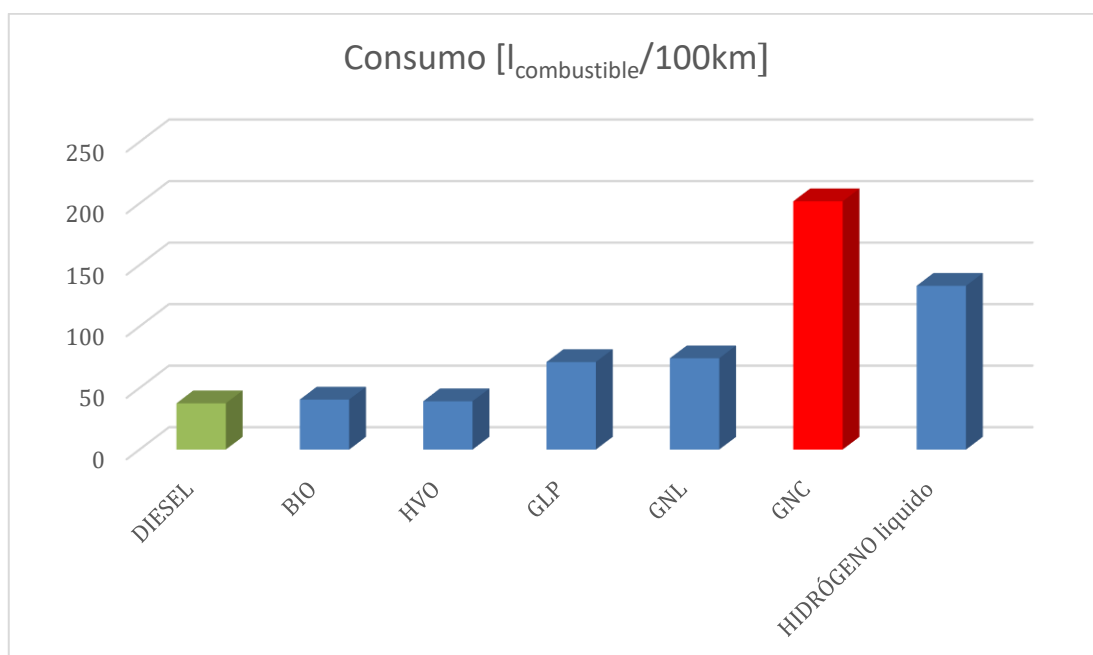
Combustible	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{t}]$
Diésel	37.62	4.84	31.30	4.03
Biodiésel	40.66	5.23	34.15	4.39
HVO	39.28	5.06	30.59	3.94
GLP	71.14	9.16	39.84	5.13
GNL	74.19	9.55	31.97	4.11
GNC	201.75	25.98	31.97	4.11
Hidrógeno gas	104809.33	13499.44	9.42	1.21
Hidrógeno líquido	133.08	17.14	9.42	1.21

Fuente de energía	$E_{consumida} [kWh]$	$E_{recuperada} [kWh]$	$E_{total} [kWh]$	$E_{total} [\frac{kWh}{t}]$
Batería	570.75	13.42	557.32	31.31

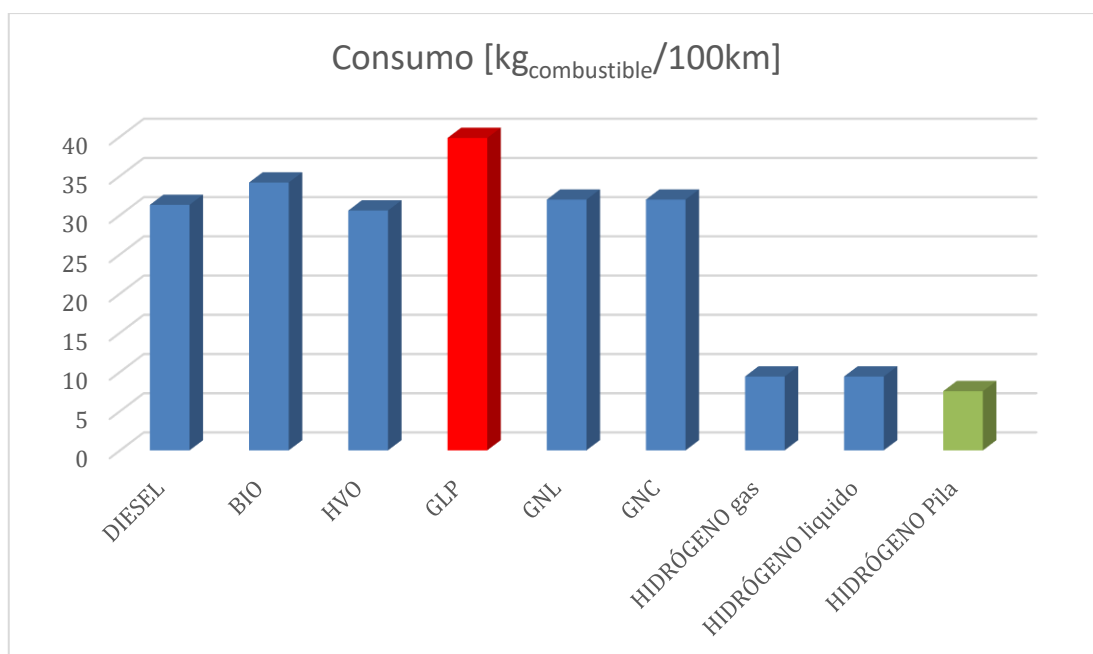
Fuente de energía	$Consumo_t [\frac{l}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{l}{t}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{100km}]$	$Consumo_t [\frac{kg}{t}]$
Pila de combustible	840001.97	12021.61	7.55	1.08

Los resultados de consumo muestran como la mejora del rendimiento ha supuesto una reducción en el consumo de los kilogramos por cada tonelada útil transportada de un 24.15%. Lo que supone una mejora sustancial con respecto al resto de configuraciones, pero aun así sin llegar a los valores del sistema de propulsión eléctrico por pila de combustible de hidrógeno.

En las siguientes gráficas, se puede observar esa reducción del consumo en la configuración del hidrógeno, al aumentar el rendimiento en el proceso de combustión.



Gráfica 25. Consumo de litros de combustible a los cien kilómetros. Escenario 5



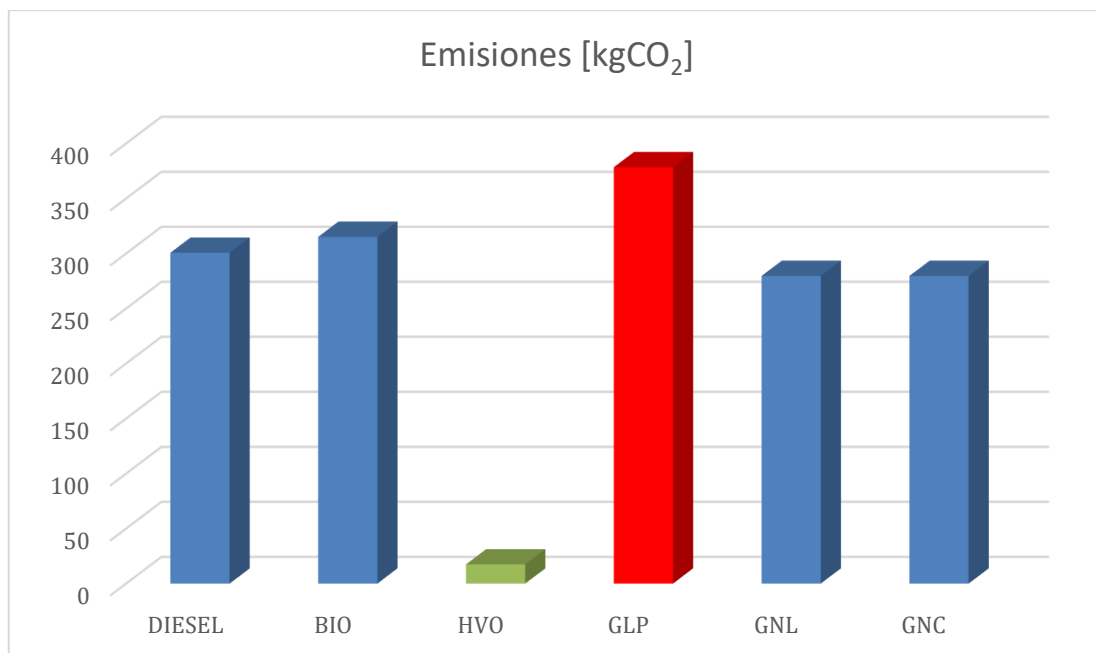
Gráfica 26. Consumo de kilos de combustible a los cien kilómetros. Escenario 5

Emisiones

Tabla 46. Resultado de las emisiones. Escenario 5

Combustible	<i>l</i>	<i>kg</i>	$kgCO_2/l$	$kgCO_2/kg$	$kgCO_2$
Diésel	121.15	100.79	2.482		300.69
Biodiésel	130.92	109.98	2.407		315.14
HVO	126.50	98.50	0.138		17.45
GLP	229.08	128.28	1.652		378.44
GNL	238.89	102.96	-	2.716	279.64
GNC	649.65	102.96		2.716	279.64

En cuanto a las emisiones al tratarse del hidrógeno, el cual no genera ninguna emisión de CO₂, los resultados se mantienen igual que los obtenidos en el cálculo inicial de la ruta seleccionada.



Gráfica 27. Emisiones. Escenario 5

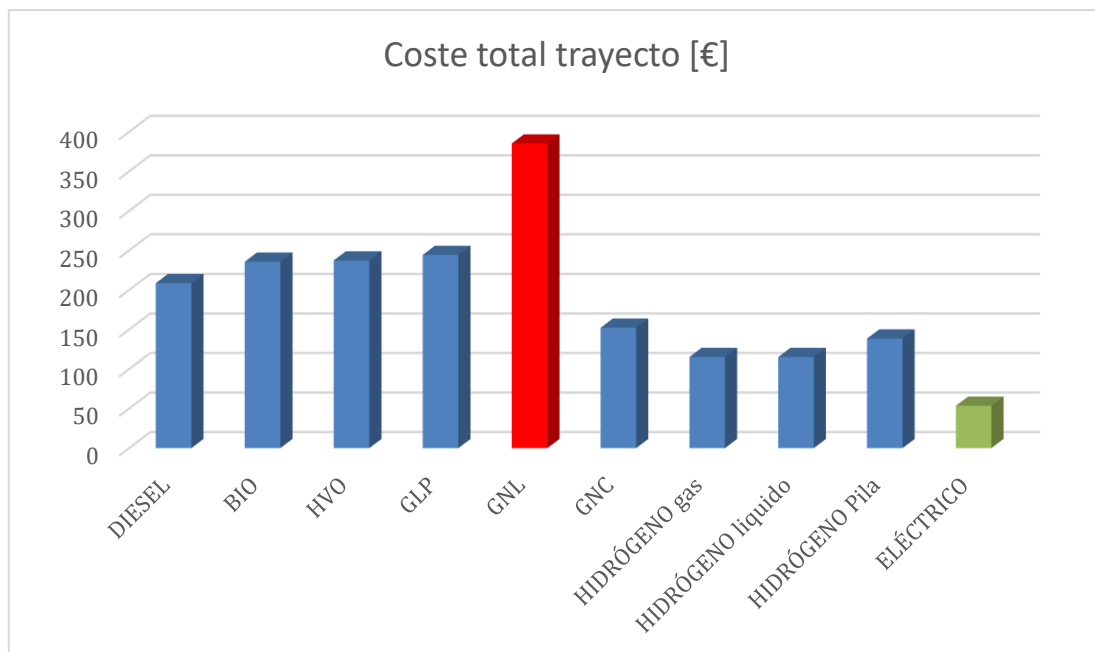
Costes

Tabla 47. Resultado de los costes. Escenario 5

Combustible	Coste trayecto [€]	Coste emisiones [€]	Coste total [€]	Coste tonelada transportada [€/t]	Porcentaje sobre el coste diésel [%]
Diésel	183.54	25.10	208.65	8.34	
Biodiésel	209.48	26.31	235.80	9.43	13.01
HVO	235.92	1.45	237.38	9.49	13.77
GLP	212.81	31.60	244.42	9.77	17.14
GNL	361.92	23.35	385.37	15.41	84.65
GNC	128.91	23.35	152.26	6.09	-27.03
Hidrógeno gas	115.29		115.29	4.61	-44.74
Hidrógeno líquido	115.29		115.29	4.61	-44.74
Batería	53.57		53.57	3	-74.32
Pila de combustible	138.60		138.60	6.16	-33.57

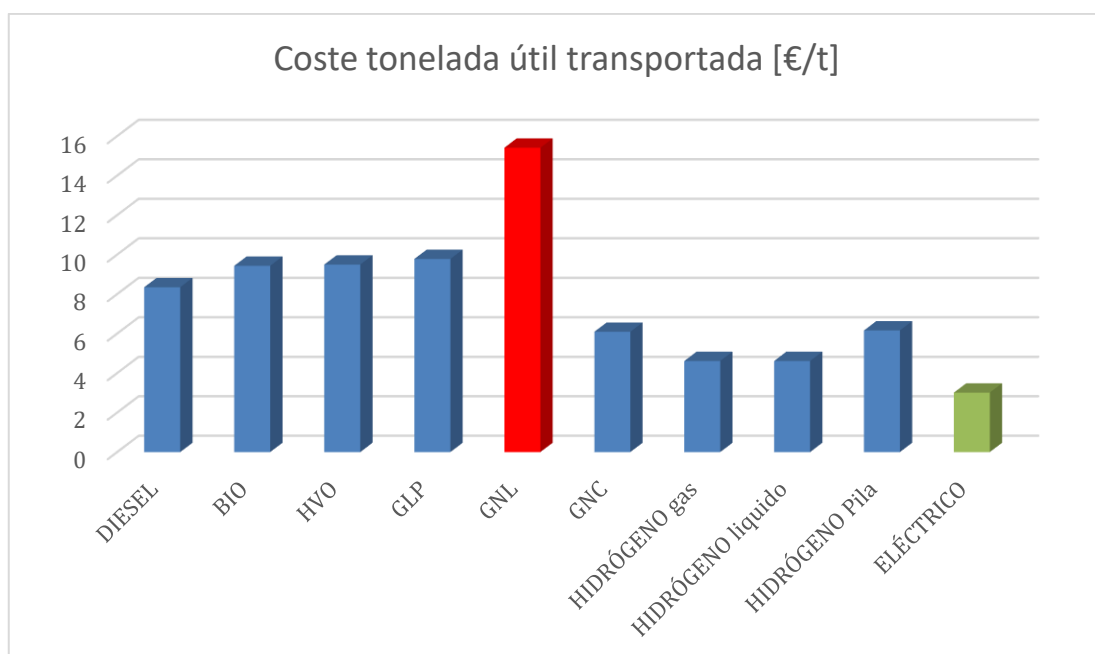
Los costes obtenidos tras la mejora del rendimiento y la reducción del coste del hidrógeno por kilo dan como resultado un escenario muy optimista para el hidrógeno de cara a ser una alternativa real a la configuración diésel en motores térmicos. Ya que este escenario muestra un coste de la configuración en hidrógeno de un 44.39% menor frente al diésel.

En las siguientes gráficas se refleja la reducción del coste total del trayecto y de la tonelada útil transportada en el hidrógeno.



Gráfica 28. Coste total del trayecto. Escenario 5

Con respecto a la configuración eléctrica se mejoran sus valores, siendo incluso más competitivo que la configuración de pila de combustible de hidrógeno, pero sin alcanzar a la configuración a baterías.



Gráfica 29. Coste tonelada útil transportada. Escenario 5.

5.6.6 Escenario 6

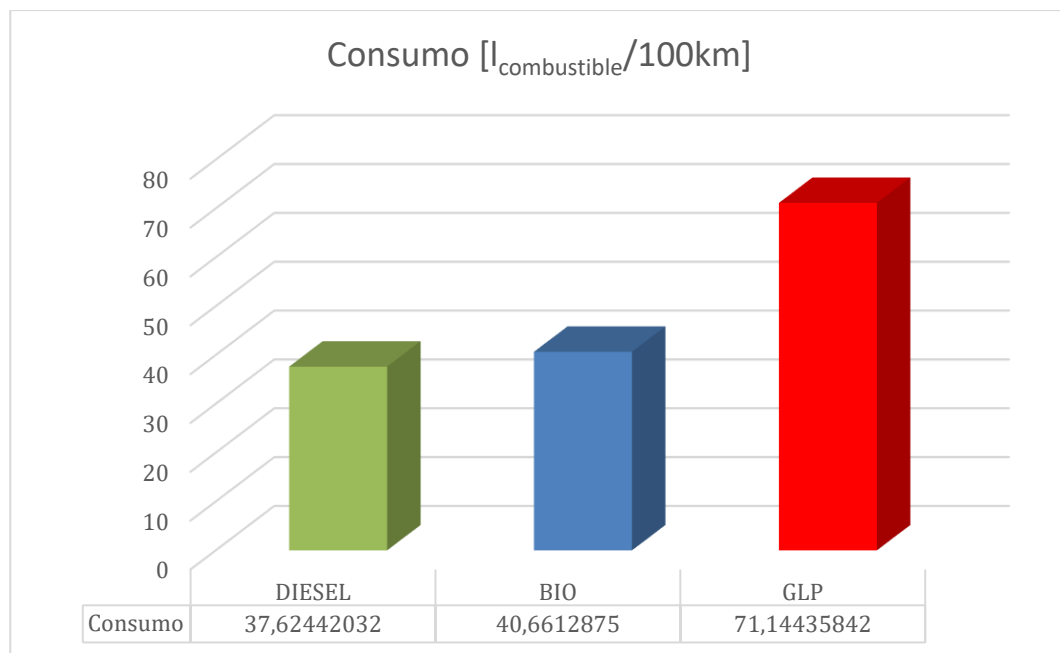
En este último escenario que se presenta en el Trabajo Final de Máster, se pretende mostrar la información que se puede obtener de la herramienta para la gestión de una flota de camiones determinada.

En este escenario se va a definir una flota de camiones de transporte de mercancías por carretera de 100 vehículos, de las cuáles 70 unidades son de diésel, 20 unidades de gas licuado del petróleo, 8 unidades de biodiésel y 2 unidades de eléctricos a batería. Mediante la cual se deben cubrir tres rutas de 120 kilómetros, 350 kilómetros y 650 kilómetros, a día de hoy.

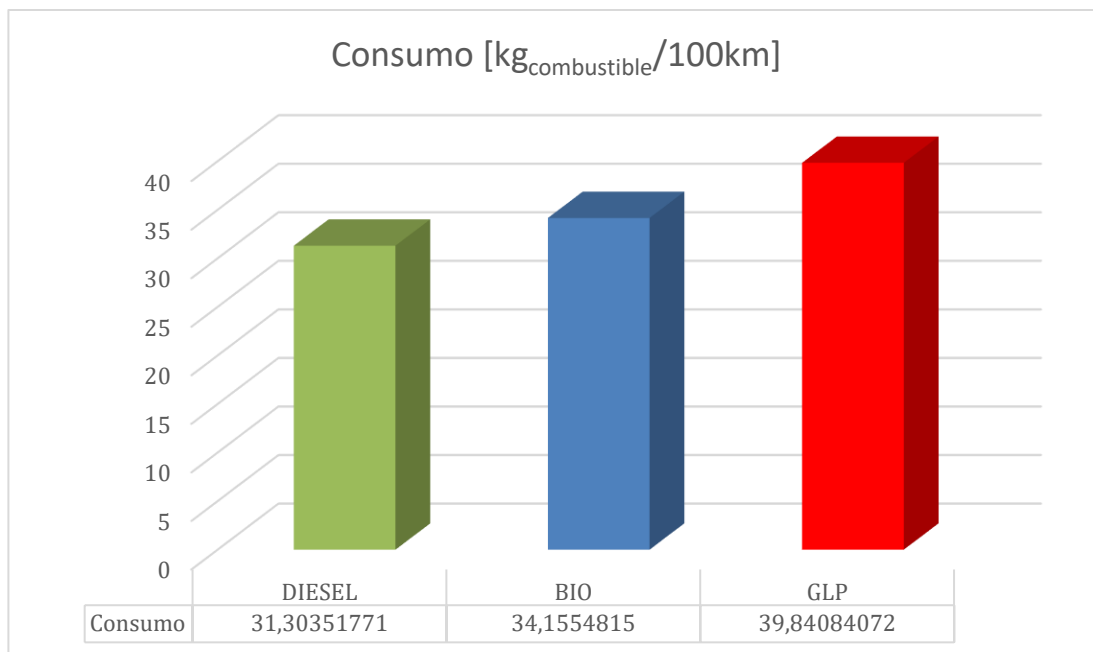
Para llevar a cabo dicho escenario se van a extrapolar los datos de la ruta Zaragoza – Madrid para esas tres rutas y va a primar el menor coste en cada una de las rutas para la selección de la configuración del sistema de propulsión.

Según estas indicaciones los resultados son los siguientes:

Consumo



Gráfica 30. Consumo de litros de combustible a los cien kilómetros. Escenario 6

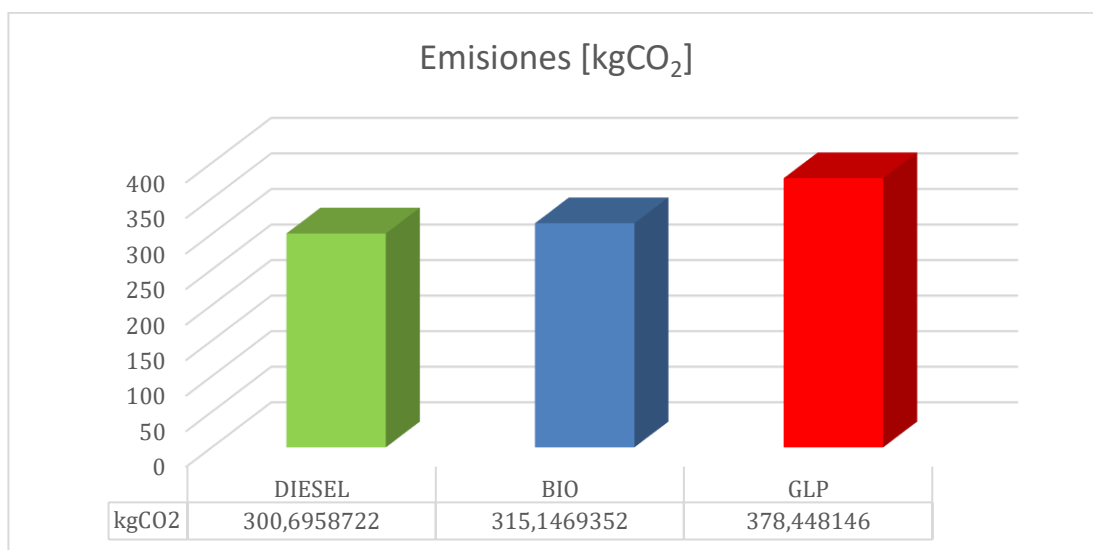


Gráfica 31. Consumo de kilogramos de combustible a los cien kilómetros. Escenario 6

En las gráficas obtenidas a partir de los datos calculados por la herramienta, indican que, en relación con el consumo, la mejor configuración para un motor térmico es el diésel ya que su consumo tanto en litros a los cien kilómetros como los kilogramos a los cien kilómetros es el menor. En cuanto a la configuración eléctrica no la podemos comparar en este apartado.

Emisiones

En cuanto a las emisiones, tal y como se observa en la siguiente gráfica, la configuración con menor valor de emisiones es el diésel frente al GLP.



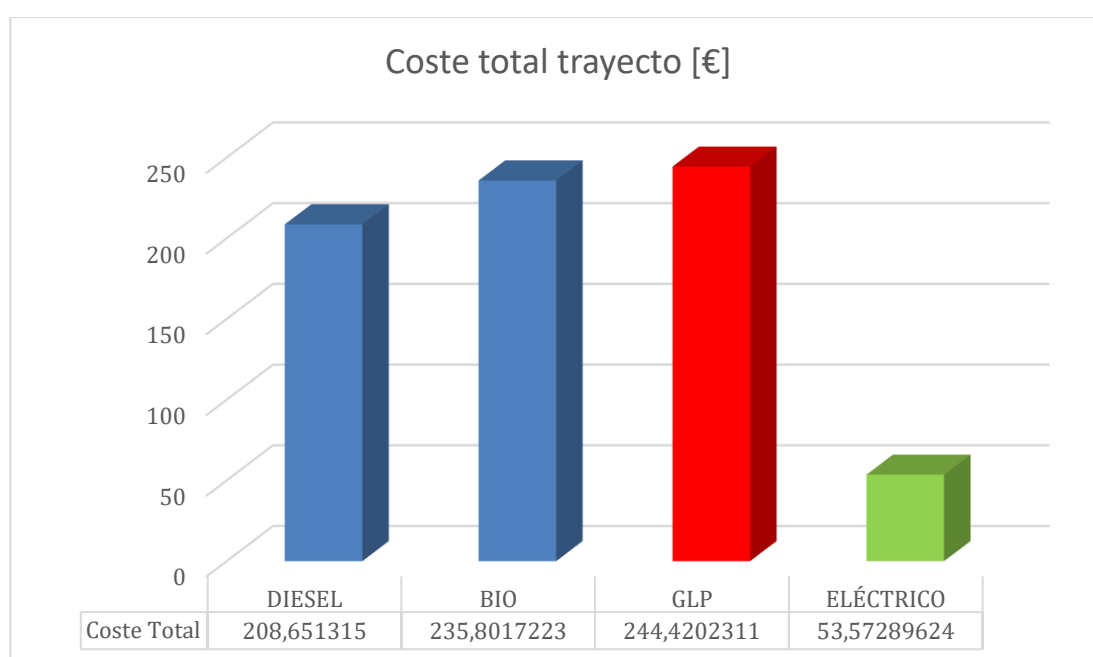
Gráfica 32. Emisiones. Escenario 6

En cuanto a la configuración eléctrica, tal y como se ha mencionado anteriormente no genera ningún tipo de emisión de CO₂. Por lo que a nivel medioambiental supone la mejor opción de las cuatro configuraciones que se están estudiando.

Costes

Por último, los datos obtenidos de los costes totales del trayecto son los siguientes:

En la gráfica se puede observar como la configuración eléctrica es la más barata de las cuatro con una gran diferencia, frente al GLP que es la más cara.



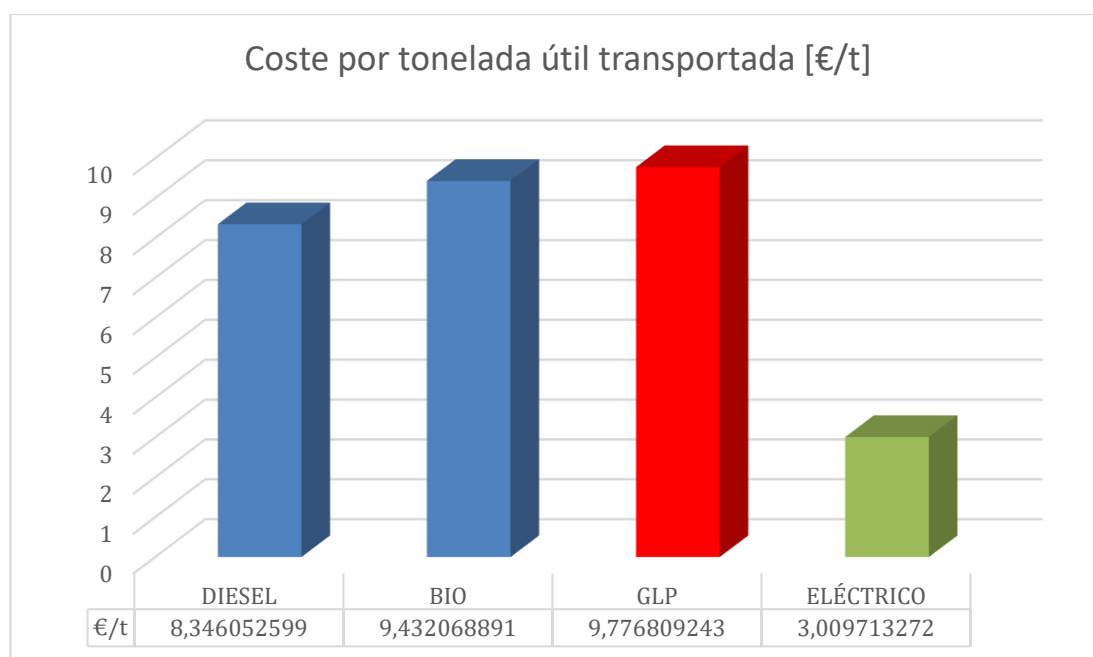
Gráfica 33. Coste total trayecto. Escenario 6

Por lo tanto, según los datos mostrados por la herramienta y en función de premiar la configuración que supone un coste menor. Se debería elegir la configuración eléctrica como primera opción, ya que su coste es el menor de los cuatro para una misma distancia y carga útil transportada.

Pero, tal y como se ha comentado anteriormente, es importante de cara a gestionar los datos de la herramienta, la influencia de otras variables a la hora de elegir la configuración óptima.

En este caso, la configuración eléctrica es la mejor opción a nivel de coste del trayecto, pero es necesario incorporar las limitaciones a cerca de su tecnología, principalmente de la autonomía que puede llegar a tener un vehículo pesado industrial con un sistema de propulsión eléctrico a baterías, de cara a tener toda la información para tomar decisiones sobre que configuración es la correcta para cada ruta y momento determinado.

De esta manera se toma como referencia el camión Mercedes-Benz eActros 600⁴⁴ con una autonomía de 540 kilómetros. En cuanto al resto de configuraciones, todas ellas pueden realizar trayecto de más de 650 kilómetros. Otro de los puntos para tener en cuenta es la carga a transportar, debido a que no todas las configuraciones pueden cargar 25 toneladas útiles, si consideramos 15 toneladas de peso entre cabeza tractora y remolque. Por lo que a continuación se adjuntan los resultados del coste económico por tonelada útil desplazada de cada una de las configuraciones:



Gráfica 34. Coste por tonelada útil transportada. Escenario 6

⁴⁴ Gutiérrez. D (julio 2024) Mercedes-Benz recorre Europa con su camión eléctrico eActros 600: mas de 13000km y 20 países (híbridos y eléctricos) https://www.hibridosyelectricos.com/camiones/mercedes-eactros-600-electrico-consumo-autonomia_75044_102.html (noviembre 2024)

Con estos últimos datos se sigue demostrando que la configuración eléctrica sigue siendo la opción más barata frente al resto de configuraciones.

Por lo tanto, se determina para este caso y según las variables conocidas que la mejor opción en cuanto al coste de trayecto y coste por tonelada transportada es la configuración eléctrica. Lo que supone que para cubrir la demanda definida y conociendo las limitaciones de la configuración eléctrica, las dos unidades eléctricas cubrirían la distancia de mayor longitud que le permite su autonomía, por lo que realizarían la ruta de 350 kilómetros. El resto de rutas se irían completando en primer lugar con las unidades diésel con las rutas de mayor distancia 650 km junto con las unidades de biodiésel y las rutas de menor distancia, se intentaría que las realizaran las unidades de GLP. De esta manera suponiendo que se puede otorgar un transporte por unidad de vehículo industrial pesado, repartido de la siguiente manera.

Tabla 48. Configuración rutas y número de. transportes. Escenario 6

Ruta [km]	N.º de transportes
650	60
350	30
120	10

La ruta de 650 km se cubre con las unidades diésel, la ruta de 350 km se cubre con 10 unidades diésel, 2 unidades eléctricas, 8 unidades biodiésel y 10 unidades GLP y la última ruta de 120 km se cubre con el resto de las unidades de GLP.

Los costes totales de cubrir las tres rutas utilizando todas las unidades de vehículos pesados industriales y a partir de los consumos por cada cien kilómetros de cada configuración, se resumen a continuación:

Tabla 49. Costes resultantes de la distribución asignada. Escenario 6

Ruta [km]	Reparto	Coste trayecto [€]	Coste emisiones [€]	Coste total [€]
650	60 Uds. Diésel	22230.38	3041.04	25271.43
350	10 Uds. Diésel	1995.03	272.91	2267.94
	2 Uds. Eléctricas (batería)	116.46		116.46
	8 Uds. Biodiésel	1821.62	228.82	2050.44
	10 Uds. GLP	2313.25	343.48	2656.74
120	10 Uds. GLP	793.11	117.76	910.88
Total	100 Uds.	29269.88	4004.03	33273.91

Como se puede observar, los costes totales ascienden a 33273.91€, dónde el coste por emisiones supone un 12.03% del coste total.

Capítulo 6: Presentación de los resultados

Tras el desarrollo de la herramienta a través de las variables de entrada necesarias, como datos de la tipología del vehículo pesado industrial de transporte de mercancías por carretera, de la ruta a estudiar y de la configuración del sistema de propulsión, de la definición y desarrollo de los cálculos teóricos de consumo, emisiones y costes económicos y finalmente de la definición de diversos escenarios en los que evaluar diferentes variables. La herramienta es capaz de ofrecer información sobre consumos en función de los kilómetros o toneladas útiles a transportar, sobre las emisiones de CO₂ que se generan en la ruta seleccionada y finalmente los costes económicos del trayecto, así como una estimación de los futuros costes de las emisiones de dióxido de carbono.

Toda esta información que muestra la herramienta permite a la persona, operador logístico, empresa, ...tener la capacidad de valorar cada una de las situaciones que se le puedan presentar y ser capaz de tomar una decisión en función de ellas con el uso de esta herramienta.

Capítulo 7: Presentación de las conclusiones y acciones futuras

7.1 Conclusiones

Las conclusiones obtenidas tras desarrollar el Trabajo de Fin de Máster “Desarrollo de una herramienta para la selección del transporte de mercancías por carretera en función de los costes de consumo” son las siguientes:

- La herramienta es capaz de mostrar información útil de cara a la toma de decisiones en función de la ruta y la configuración del sistema de propulsión.
- La herramienta permite realizar múltiples escenarios en función de los datos de entrada que se le aporten.
- Permite realizar previsiones de consumos, emisiones y costes económicos.
- También es capaz de generar un histórico de los precios de las configuraciones de los sistemas de propulsión de cara a realizar simulaciones futuras.
- Permite introducir cualquier nueva configuración de sistema de propulsión y poder realizar una comparación con las demás.

7.2 Líneas futuras de actuación

Con el objetivo de continuar su desarrollo y aumentar sus utilidades, se proponen a continuación dos líneas futuras para la herramienta desarrollada:

- La principal línea de mejora sería mejorar el cálculo teórico para que los resultados fueran más fieles a los reales. Para ello, es necesario mejorar la obtención de datos de entrada.
- Otra línea es la de usar la herramienta de cara a conocer cuanto ahorro supone mejorar una de las variables del cálculo, como pueden ser los coeficientes de rodadura y el aerodinámico o la mejora en variables relacionadas con el vehículo pesado, como pueden ser los neumáticos.

Capítulo 8: Bibliografía

- [1] - Auditoría y certificación de sistema de gestión NQA (2023) *NACE LA ISO 14083:2023 – EMISIONES DERIVADAS DE LA CADENA DE TRANSPORTE* (mayo 2023) <https://www.nga.com/es-es/resources/news/nace-la-iso-14084-2023-emisiones-derivadas-de-la-c> (mayo 2024)
- [2] - Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2023) *Euro 7: emisiones de turismos, furgonetas, autobuses y camiones* (octubre 2023) <https://esmovilidad.transportes.gob.es/noticias/euro-7-emisiones-de-turismos-furgonetas-autobuses-y-camiones> (mayo 2024)
- [3] Diesel o gasolina. *Histórico del precio de la gasolina y el diésel en ESPAÑA* <https://www.dieselogasolina.com/Estadisticas/Historico> (junio 2024)
- [4] myLPG.eu *Gráfico de precios del combustible en España* <https://www.mylpg.eu/es/estaciones/espana/precios/> (junio 2024)
- [5] Hidrógeno verde. *Precio del hidrógeno* <https://hidrogeno-verde.es/precio-del-hidrogeno> (noviembre 2024)
- [6] Lahera, G. (20/09/2024) *Precio del gas natural: Evolución en España y coste del m3*. Selectra <https://selectra.es/energia/info/que-es/precio-kwh-gas-natural> (octubre 2024)
- [7] Precio de la luz. *Precio medio de la electricidad por meses*. <https://preciodelaluz.com/precio-por-meses-total> (octubre 2024)
- [8] Eurostat. *Database* <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> (octubre 2024)
- [9] Observatorio de transporte y la logística en España. (OTLE) *Informe anual 2023. 2.2.4 Transporte de mercancías por carretera nacional e internacional*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> (octubre 2024)
- [10] Observatorio del transporte y la logística en España. (OTLE) *Informe 2023. 5.2.1 Emisiones contaminantes del transporte*. <https://otle.transportes.gob.es/inform/es/2023/5sostenibilidad-ambiental/52-emisiones-y-eficiencia-ambiental/521emisiones-contaminantes-del-transporte> (octubre 2024)
- [11] Castillo grupo. *Composición y características del gasóleo (septiembre 2019)*. (Julio 2024)

[12], [13] y [15] A.Dimitriadis (2018) *Evaluation of a Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and Effects on Emissions of a Passenger Car Diesel Engine*. (octubre 2024)

[14] Plataforma e-ducative aragonesa https://e-ducative.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4932/html/25_rendimiento_trmico.html#:~:text=Los%20motores%20Diesel%20alcanzan%20un,no%20alcanzando%20valores%20del%2035%25. (junio 2024)

[16] Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). *Análisis de Ciclo de Vida de Combustibles Alternativos para el Transporte (2006)*. (octubre 2024)

[17] Wikipedia. *Gas Licuado del Petróleo* https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_petroleum_gas (octubre 2024)

[18] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) *Poderes caloríficos inferiores (Hoja Excel)* (octubre 2024)

[19] Thermal Engineering *¿What is Thermal Efficiency of Heat Engines?* (2011) (octubre 2024)

[20] y [22] Gasnam Neutral Transport *Tabla de equivalencias (Documento PDF)* (octubre 2024)

[21] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) *Poderes caloríficos inferiores (Hoja Excel)* (octubre 2024)

[23] Gas Natural GNU *Comparativa de Costos: Gasolina vs Gas Natural Vehicular* (2021) (octubre 2024)

[24] y [25] Asociación Española del Hidrógeno (AEH2) *¿Cómo funciona el Hidrógeno como fuente de energía? - Propiedades del Hidrógeno (Tabla)* (noviembre 2024)

[26] Palencia, J. (2022) *Camiones de pila de combustible propulsados por H2: Tres Tecnologías*. SynerHy Hydrogen Experts. <https://synerhy.com/2022/02/camiones-de-pila-de-combustible-propulsados-por-h2-tres-tecnologias> (noviembre 2024)

[27] Gutiérrez, D (julio 2024) *Mercedes-Benz recorre Europa con su camión eléctrico eActros 600: más de 13000 km y 20 países (Híbridos y eléctricos)*. https://www.hibridosyelectricos.com/camiones/mercedes-eactros-600-electrico-consumo-autonomia_75044_102.html (octubre 2024)

[28] Nuevo, D. (enero 2024) *La pila de combustible (TECPA)* <https://www.tecpa.es/pila-combustible/#:~:text=La%20eficiencia%20energ%C3%A9tica%20de%20la,varia%20del%2030%20al%2035%25>. (octubre 2024)

- [29] y [30] ACEA DRIVING MOBILITY FOR EUROPE *Report-Vehicles in use, Europe 2023 (January 2023)*. <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2023> (septiembre 2023)
- [31] Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible <https://www.transportes.gob.es/transporte-terrestre/inspeccion-y-seguridad-en-el-transporte/pesos-y-dimensiones/pesos/pesos-trailer/trailer-de-mas-de-cuatro-ejes> (agosto 2024)
- [32] Europa Camiones. <https://www.europa-camiones.com/ficha-tecnica-gama/man-tgx-18-440-4x2-bls-efficient-line> (julio 2024)
- [33] y [34] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Norma 31-IC de la Instrucción de carreteras – Trazado (enero 2020)* (agosto 2024)
- [34] Michelin CAN BUS. <https://connectedfleet.michelin.com/en/glossary/can-bus> (julio 2024)
- [35], [36], [37] y [38] Wong, J. Y. (2001) *THEORY OF GROUND VEHICLES* (3ª Edition). JOHN WILEY & SIN, INC. (noviembre 2024)
- [39] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Norma 31-IC de la Instrucción de carreteras – Trazado (enero 2020)* (agosto 2024)
- [40] Boletín Oficial del Estado (BOE) *Artículo 48, Real Decreto 1428/2003,21 de noviembre* <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-23514> (septiembre 2024)
- [41] SynerHy Hidrogen Experts (marzo 2022) *Pila de combustible vs baterías, ¿cómo se descarbonizarán las flotas de camiones?* <https://synerhy.com/2022/03/pila-de-combustible-vs-baterias-como-se-descarbonizaran-las-flotas-de-camiones> (noviembre 2024)
- [42] La Asociación de Fabricantes y Distribuidores (AECOC) *Guía de cálculo de la huella de carbono del transporte de mercancías por carretera (2017)*. (agosto 2024)
- [43] SendeCO₂.Precios CO₂. <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2> (noviembre 2024)
- [44] Gutiérrez. D (julio 2024) *Mercedes-Benz recorre Europa con su camión eléctrico eActros 600: mas de 13000km y 20 países (híbridos y eléctricos)* https://www.hibridosyelectricos.com/camiones/mercedes-eactros-600-electrico-consumo-autonomia_75044_102.html (noviembre 2024)

ANEXOS

Desarrollo de una herramienta para la selección del transporte de mercancías por carretera en función de los costes de consumo

Development of a tool for selecting road freight transport based on consumption costs

Autor

Eduardo Molina Martín

Director

Emilio Larrodé Pellicer

Titulación del autor

Grado en Tecnologías Industriales

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza
2023/2024

ANEXOS

ANEXO I: Datos ruta El Burgo de Ebro - Silla

ANEXO II: Cabezas tractoras

ANEXO III: Cálculo de la resistencia del viento

ANEXO IV: Resultados ruta El Burgo de Ebro – Silla

ANEXO V: Datos rutas seleccionadas

ANEXO VI: Resumen Configuraciones Ruta Zaragoza – Madrid

ANEXO VII: Resumen Configuraciones Ruta Valencia - Barcelona

ANEXO VIII: Resumen Resultados de los Escenarios

ANEXO I: Datos ruta El Burgo de Ebro - Silla

En el siguiente ANEXO se muestran los datos facilitados por el departamento de Transportes de la Universidad de Zaragoza, referentes a la ruta entre el Burgo de Ebro (Zaragoza) y Silla (Valencia).

Se trata de datos reales obtenido a través de CANBUS en un trayecto realizado el 18 de diciembre de 2018, con MMA de 40 toneladas.

A continuación., se adjuntan los datos facilitados

Km CANBUS	Vel GPS [km/h]	Lugar	Altitud [m]	Fuel [l]
509542,9	65	5,0 Km. al SE de Virgen de la Columna 23,9 Km. al SE de Zaragoza, España	189	9735
509543,4	0	4,7 Km. al SE de Virgen de la Columna 23,6 Km. al SE de Zaragoza, España	181	9735
509543,4	0	4,7 Km. al SE de Virgen de la Columna 23,6 Km. al SE de Zaragoza, España	180	9735
509543,4	10	4,7 Km. al SE de Virgen de la Columna 23,6 Km. al SE de Zaragoza, España	181	9735
509543,4	10	4,7 Km. al SE de Virgen de la Columna 23,6 Km. al SE de Zaragoza, España	181	9735
509545,4	88	2,6 Km. al SE de Virgen de la Columna 21,5 Km. al SE de Zaragoza, España	197	9736,5
509548,6	86	1,1 Km. al O de Virgen de la Columna 17,9 Km. al SE de Zaragoza, España	205	9738
509556,1	88	1,6 Km. al E de Cartuja (la) (Gare) 9,8 Km. al SE de Zaragoza, España	213	9740,5
509558,1	87	0,3 Km. al SE de Aire de repos N232 7,7 Km. al SE de Zaragoza, España	201	9741
509561	55	0,8 Km. al E de Miraflores (Gare) 4,9 Km. al SE de Zaragoza, España	200	9742
509561,2	26	0,7 Km. al NE de Miraflores (Gare) 4,6 Km. al SE de Zaragoza, España	203	9742
509561,7	44	0,3 Km. al NE de Miraflores (Gare) 4,3 Km. al SE de Zaragoza, España	214	9742,5
509565,1	86	2,1 Km. al S de Zaragoza/Torrero 4,3 Km. al S de Zaragoza, España	284	9745,5
509567,6	93	2,5 Km. al NE de Cuarte de Huerva 4,8 Km. al SO de Zaragoza, España	280	9746,5
509568,4	87	2,1 Km. al NE de Cuarte de Huerva 5,1 Km. al SO de Zaragoza, España	261	9746,5
509568,6	83	2,1 Km. al NE de Cuarte de Huerva 5,2 Km. al SO de Zaragoza, España	265	9746,5
509570,6	84	1,1 Km. al NO de Cuarte de Huerva 6,8 Km. al SO de Zaragoza, España	290	9748
509570,9	88	1,0 Km. al NO de Cuarte de Huerva 7,0 Km. al SO de Zaragoza, España	290	9748
509575,9	88	0,3 Km. al SO de Cadrete (Gare) 11,9 Km. al SO de Zaragoza, España	318	9750
509583,4	88	1,3 Km. al N de Botorrita 19,5 Km. al SO de Zaragoza, España	386	9753,5
509585,8	88	2,3 Km. al O de Botorrita	395	9754,5

		22,0 Km. al SO de Zaragoza, España		
509590,9	88	1,1 Km. al NO de Muel 27,2 Km. al SO de Zaragoza, España	440	9757
509598,4	88	2,9 Km. al NE de Longares 34,6 Km. al SO de Zaragoza, España	547	9761,5
509605,9	88	4,0 Km. al NE de Cariñena 41,8 Km. al SO de Zaragoza, España	557	9764
509613,4	88	2,3 Km. al N de Paniza 47,0 Km. al SO de Zaragoza, España	659	9768,5
509618,6	48	3,3 Km. al SO de Paniza 51,9 Km. al SO de Zaragoza, España	854	9774,5
509624,7	83	2,8 Km. al O de Cerveruela 55,9 Km. al SO de Zaragoza, España	867	9777,5
509629,2	95	1,1 Km. al SE de Villareal de Huerva (Gare)	884	9779,5
509629,4	91	60,3 Km. al SO de Zaragoza, España 1,2 Km. al E de Villarreal de Huerva 60,5 Km. al SO de Zaragoza, España	883	9779,5
509632,1	88	0,5 Km. al O de Villadoz 63,0 Km. al SO de Zaragoza, España	896	9780
509639,6	88	1,5 Km. al N de Lechón 67,9 Km. al SO de Zaragoza, España	972	9784,5
509642,4	88	1,1 Km. al SO de Lechón 69,9 Km. al SO de Zaragoza, España	1020	9786
509642,7	88	1,3 Km. al S de Lechón 70,0 Km. al SO de Zaragoza, España	1022	9786,5
509647,1	88	1,5 Km. al S de Venta del Cuerno 72,3 Km. al SO de Zaragoza, España	1052	9788
509654,4	87	65,0 Km. al N de Teruel 77,1 Km. al SO de Zaragoza, España	942	9789
509660,4	83	60,4 Km. al N de Teruel 81,8 Km. al SO de Zaragoza, España	938	9790
509660,6	83	60,2 Km. al N de Teruel 82,0 Km. al SO de Zaragoza, España	942	9790
509661,5	74	59,8 Km. al N de Teruel 82,8 Km. al SO de Zaragoza, España	943	9790,5
509668,6	83	56,0 Km. al N de Teruel 89,0 Km. al SO de Zaragoza, España	929	9792
509675,7	83	51,4 Km. al NO de Teruel 95,2 Km. al SO de Zaragoza, España	948	9794
509682,8	83	46,1 Km. al NO de Teruel 150,2 Km. al NO de Castellón de la Plana, España	986	9797,5
509689,8	83	40,1 Km. al NO de Teruel 145,9 Km. al NO de Castellón de la Plana, España	982	9799
509696,9	83	34,3 Km. al NO de Teruel 141,8 Km. al NO de Castellón de la Plana, España	995	9801,5
509704	83	28,2 Km. al NO de Teruel 137,2 Km. al NO de Castellón de la Plana, España	1009	9803,5
509711,1	83	22,1 Km. al NO de Teruel 132,5 Km. al NO de Castellón de la Plana, España	1010	9805,5
509718,2	82	16,1 Km. al NO de Teruel 127,9 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1035	9808
509725,3	84	8,9 Km. al NO de Teruel 121,0 Km. al O de Castellón de la Plana,	1014	9809,5

España				
509732,6	83	3,0 Km. al N de Teruel 113,2 Km. al O de Castellón de la Plana, España	921	9809,5
509739,1	83	6,9 Km. al E de Teruel 106,7 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1049	9814
509745,8	82	11,7 Km. al E de Teruel 101,3 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1179	9819
509752,7	89	17,4 Km. al SE de Teruel 96,1 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1190	9821
509755,2	89	19,8 Km. al SE de Teruel 94,1 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1167	9821,5
509755,4	77	19,9 Km. al SE de Teruel 94,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1163	9821,5
509755,6	64	20,1 Km. al SE de Teruel 93,8 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1154	9821,5
509755,8	51	20,3 Km. al SE de Teruel 93,7 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1149	9821,5
509757,2	87	21,5 Km. al SE de Teruel 92,7 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1146	9822,5
509758,4	88	22,4 Km. al SE de Teruel 92,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1163	9823
509760,2	92	24,5 Km. al SE de Teruel 90,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1129	9823,5
509760,5	87	24,7 Km. al SE de Teruel 89,8 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1122	9823,5
509765,9	88	30,5 Km. al SE de Teruel 84,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1020	9823,5
509773,2	89	38,3 Km. al SE de Teruel 76,3 Km. al O de Castellón de la Plana, España	928	9824,5
509780,4	88	45,2 Km. al SE de Teruel 69,9 Km. al O de Castellón de la Plana, España	919	9826,5
509787,4	83	49,8 Km. al SE de Teruel 67,8 Km. al O de Castellón de la Plana, España	953	9829
509789,5	73	51,9 Km. al SE de Teruel 66,3 Km. al O de Castellón de la Plana, España	970	9830
509789,7	56	52,0 Km. al SE de Teruel 66,1 Km. al O de Castellón de la Plana, España	975	9830
509789,8	40	52,2 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	977	9830
509790,5	29	52,5 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana,	988	9830,5

España				
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	991	9830,5
509790,6	3	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	992	9830,5
509790,6	0	52,5 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	992	9830,5
509790,6	0	52,5 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	992	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	992	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	993	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	993	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	993	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	993	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	993	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	995	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	998	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	998	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	996	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	997	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	996	9830,5
509790,6	0	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	996	9830,5
509790,6	0	52,5 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	996	9830,5
509790,6	0	52,5 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	997	9830,5
509790,6	7	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana,	996	9830,5

España				
509790,6	5	52,6 Km. al SE de Teruel 66,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	996	9830,5
509790,8	22	52,7 Km. al SE de Teruel 65,9 Km. al O de Castellón de la Plana, España	994	9831
509790,8	26	52,7 Km. al SE de Teruel 65,9 Km. al O de Castellón de la Plana, España	994	9831
509790,9	25	52,8 Km. al SE de Teruel 65,9 Km. al O de Castellón de la Plana, España	994	9831
509794,3	88	3,0 Km. al SE de Barracas (Gare) 64,3 Km. al O de Castellón de la Plana, España	995	9832,5
509795,2	85	3,5 Km. al SE de Barracas (Gare) 63,3 Km. al O de Castellón de la Plana, España	1011	9833,5
509796	93	3,2 Km. al NO de Masías Blancas 62,5 Km. al O de Castellón de la Plana, España	978	9833,5
509796,3	91	3,0 Km. al NO de Masías Blancas 62,4 Km. al O de Castellón de la Plana, España	966	9833,5
509796,6	91	2,7 Km. al NO de Masías Blancas 62,2 Km. al O de Castellón de la Plana, España	954	9833,5
509796,8	91	2,5 Km. al NO de Masías Blancas 62,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	944	9833,5
509801,8	89	0,2 Km. al E de Masías de Parrela 58,8 Km. al O de Castellón de la Plana, España	734	9833,5
509809,4	89	0,9 Km. al E de Jérica-Viver (Gare) 52,4 Km. al O de Castellón de la Plana, España	520	9833,5
509816,1	89	1,4 Km. al SO de Navajas 49,3 Km. al O de Castellón de la Plana, España	459	9835,5
509823,4	75	1,0 Km. al O de Villatorcas 44,9 Km. al O de Castellón de la Plana, España	315	9836
509824,5	95	0,5 Km. al S de Villatorcas 44,1 Km. al O de Castellón de la Plana, España	295	9836,5
509824,8	89	0,8 Km. al SE de Villatorcas 44,0 Km. al O de Castellón de la Plana, España	290	9836,5
509830,6	64	2,2 Km. al SE de Sot de Ferrer 40,9 Km. al SO de Castellón de la Plana, España	253	9837
509832,8	85	2,3 Km. al O de Algimia-Ciudad (Gare) 29,8 Km. al N de Valencia, España	247	9838
509833,8	80	2,4 Km. al O de Algimia-Ciudad (Gare) 29,0 Km. al N de Valencia, España	262	9839
509834,7	89	1,4 Km. al NO de Algimia de Alfara- Torres Torres (Gare)	235	9839
509834,9	88	28,4 Km. al N de Valencia, España 1,2 Km. al O de Algimia de Alfara-Torres	227	9839

		Torres (Gare)		
		28,3 Km. al N de Valencia, España		
509837,5	84	1,7 Km. al SO de Torres-Torres	191	9839
		26,4 Km. al N de Valencia, España		
509844,7	87	0,6 Km. al N de Gilet	97	9839
		22,0 Km. al N de Valencia, España		
509849,8	84	1,5 Km. al SO de Sagunto	33	9839,5
		21,6 Km. al NE de Valencia, España		
509850,4	77	2,4 Km. al E de Aire de service Sagunto E	24	9839,5
		21,2 Km. al NE de Valencia, España		
509851,7	84	2,2 Km. al SE de Aire de service Sagunto E	25	9839,5
		20,0 Km. al NE de Valencia, España		
509854,2	77	0,9 Km. al E de Monte Picayo	24	9840,5
		17,9 Km. al NE de Valencia, España		
509857	88	2,3 Km. al O de Puzol	51	9842
		15,7 Km. al N de Valencia, España		
509858,7	89	2,5 Km. al NO de Rafelbuñol	57	9842,5
		14,3 Km. al N de Valencia, España		
509866,2	88	2,4 Km. al NO de San Isidro de Benagéber	64	9844,5
		11,6 Km. al N de Valencia, España		
509872,8	90	2,6 Km. al E de Cañada (la)	100	9847
		10,4 Km. al NO de Valencia, España		
509873	86	2,4 Km. al E de Cañada (la)	93	9847
		10,4 Km. al NO de Valencia, España		
509873,7	89	1,8 Km. al E de Cañada (la)	80	9847,5
		10,6 Km. al NO de Valencia, España		
509877,2	90	2,1 Km. al O de Paterna	53	9848
		9,3 Km. al NO de Valencia, España		
509877,2	89	2,1 Km. al O de Paterna	53	9848
		9,3 Km. al NO de Valencia, España		
509881,2	84	0,8 Km. al E de Quart de Poblet	40	9849
		5,8 Km. al O de Valencia, España		
509888,6	88	0,9 Km. al N de Valencia/Forn D.Alcedo (EI)	14	9850,5
		3,5 Km. al S de Valencia, España		
509889,7	77	0,9 Km. al NE de Valencia/Forn D.Alcedo (EI)	5	9850,5
		4,0 Km. al S de Valencia, España		
509890	75	0,8 Km. al E de Valencia/Forn D.Alcedo (EI)	5	9850,5
		4,2 Km. al S de Valencia, España		
509895,8	89	1,2 Km. al E de Beniparrell	7	9852,5
		9,1 Km. al S de Valencia, España		
509900	60	1,1 Km. al NO de Silla (Gare)	22	9854
		11,7 Km. al SO de Valencia, España		
509900,2	27	0,9 Km. al NO de Silla (Gare)	16	9854
		11,7 Km. al SO de Valencia, España		
509900,5	36	0,6 Km. al NO de Silla (Gare)	18	9854,5
		11,5 Km. al S de Valencia, España		
509900,6	25	0,5 Km. al NO de Silla (Gare)	13	9854,5
		11,5 Km. al S de Valencia, España		
509900,7	38	0,5 Km. al NO de Silla (Gare)	12	9854,5
		11,6 Km. al S de Valencia, España		
509900,8	25	0,5 Km. al NO de Silla (Gare)	18	9854,5
		11,7 Km. al S de Valencia, España		
509900,9	36	0,5 Km. al NO de Silla (Gare)	17	9854,5
		11,8 Km. al S de Valencia, España		

509901,5	35	0,8 Km. al SO de Silla (Gare) 12,4 Km. al S de Valencia, España	13	9855
509901,6	0	0,8 Km. al SO de Silla (Gare) 12,4 Km. al S de Valencia, España	18	9855
509901,6	0	0,8 Km. al SO de Silla (Gare) 12,4 Km. al S de Valencia, España	18	9855
509901,6	4	0,8 Km. al SO de Silla (Gare) 12,4 Km. al S de Valencia, España	20	9855
509901,6	6	0,8 Km. al SO de Silla (Gare) 12,4 Km. al S de Valencia, España	19	9855
509901,7	22	0,7 Km. al SO de Silla (Gare) 12,4 Km. al S de Valencia, España	14	9855
509901,8	0	0,7 Km. al SO de Silla (Gare) 12,4 Km. al S de Valencia, España	17	9855
509901,8	0	0,7 Km. al SO de Silla (Gare) 12,4 Km. al S de Valencia, España	17	9855

ANEXO II: Cabezas tractoras

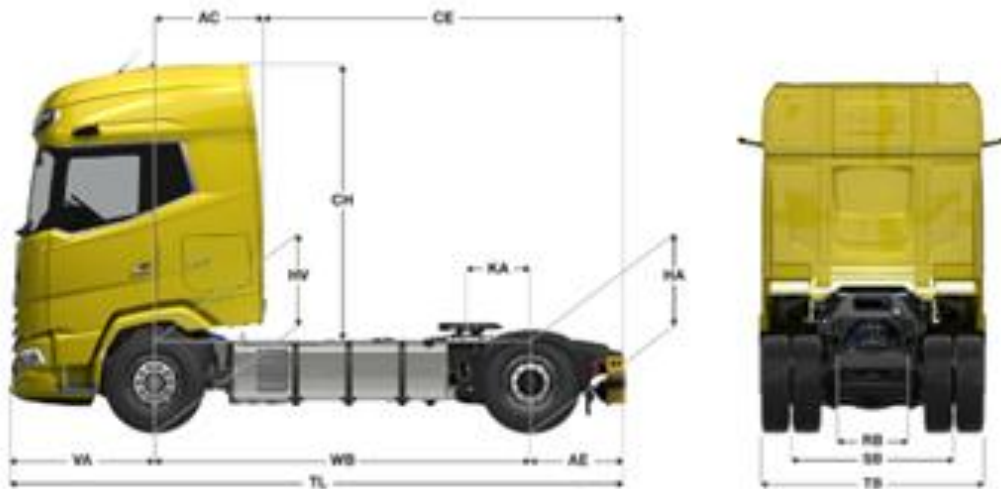
En el siguiente ANEXO se realiza un estudio de mercado de las diferentes cabezas tractoras que existen actualmente en función de su motorización. Se han seleccionado cabezas tractoras con características similares en cuanto a potencia y tracción. Siendo las características diferenciales, su área frontal y su sistema de propulsión.

El criterio de selección de las cabezas tractoras ha sido el de seleccionar un modelo de las marcas más importantes del mercado de transporte por carretera actual.

Las cabezas tractoras seleccionadas son:

DIESEL E HIDRÓGENO

Para este sistema de propulsión mediante motor diésel se ha optado por el modelo XG+ 450 FT 4x2 Tractor de la marca DAF.



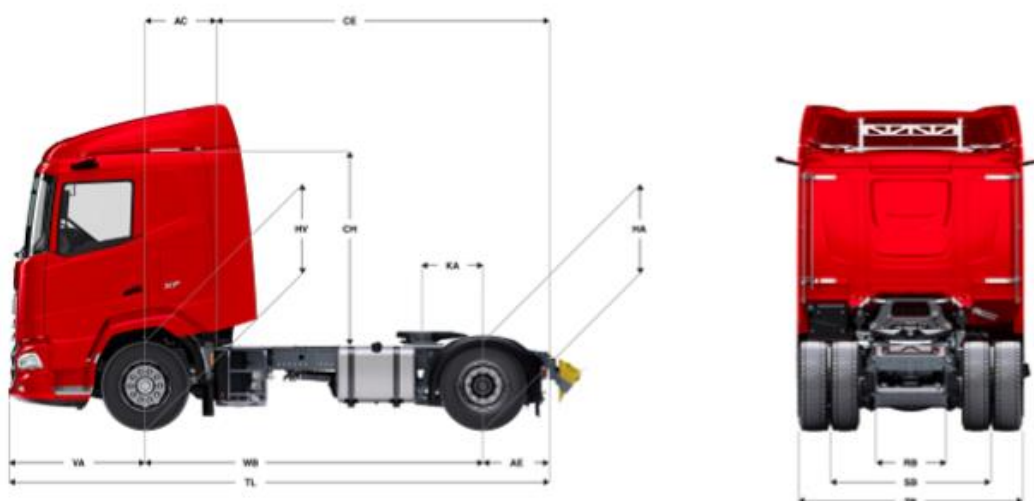
Cabeza tractora DAF. Fuente: www.daf.com

A continuación, se muestran sus características:

MARCA	DAF
MODELO	XG+ 450 FT
TRACCIÓN	4x2
POTENCIA	(330kW / 449 CV)
TARA	7627 kg
PESO BRUTO	18000 kg
PESO BRUTO COMBINADO	50000 kg
ALTURA (CH+HV)	3.9 m
ANCHO (TB)	2.48 m
ÁREA FRONTAL	9.672 m ²

S

in embargo, para el motor de hidrógeno, se ha optado por la tractora DAF XF de nueva Generación



Cabeza tractora DAF XF Nueva Generación. Fuente: www.daf.com

A continuación, se muestran las características de este modelo:

MARCA	DAF
MODELO	XF Nueva Generación
TRACCIÓN	4x2
POTENCIA	(330kW / 449 CV)
TARA	7627 kg
PESO BRUTO	18000 kg
PESO BRUTO COMBINADO	50000 kg
ALTURA (CH+HV)	3.68 m
ANCHO (TB)	2.48 m
ÁREA FRONTAL	9.12 m ²

BIODIESEL Y HVO

En este caso se ha elegido una cabeza tractora que puede funcionar tanto con biodiésel (B30) como con HVO (B100). La cabeza seleccionada es el modelo T-460 E6 4x2 de la marca RENAULT.



Cabeza tractora RENAULT. Fuente: www.renault-trucks.com

A continuación, se muestran sus características:

Características cabeza tractora Biodiésel (datos: www.renault-trucks.com)

MARCA	RENAULT
MODELO	T-460 E6
TRACCIÓN	4x2
POTENCIA	(344kW / 460 CV)
TARA	7085 kg
PESO BRUTO	19000 kg
PESO BRUTO COMBINADO	44000 kg
ALTURA	3.762 m
ANCHO (TB)	2.464 m
ÁREA FRONTAL	9.269 m ²

GLP

Para el sistema de propulsión del gas licuado del petróleo, se ha seleccionado un camión diésel, debido a que existen kit de conversión comerciales para modificar el sistema de propulsión a un sistema bi-fuel (Diésel-GLP).

La cabeza tractora seleccionada es el modelo R450 4x2 de la marca SCANIA



Cabeza tractora SCANIA. Fuente: www.scania.com

A continuación, se muestran sus características:

Características cabeza tractora GLP (datos: www.scania.com)

MARCA	SCANIA
MODELO	R450
TRACCIÓN	4x2
POTENCIA	420 CV
TARA	7500 kg
PESO BRUTO	19000 kg
PESO BRUTO COMBINADO	44000 kg
ALTURA	3.762 m
ANCHO (TB)	2.464 m
ÁREA FRONTAL	9.269 m ²

GNV (GNC y GNL) e HIDRÓGENO

En el caso de los sistemas de propulsión para gases naturales vehiculares, se ha seleccionado una cabeza tractora capaz de funcionar con cualquiera de las dos configuraciones, gas natural comprimido y gas natural licuado.

La cabeza tractora seleccionada ha sido el modelo S-WAY NG de la marca IVECO



Cabeza tractora IVECO. Fuente: www.iveco.com

Sus características se muestran a continuación:

Características cabeza tractora GNV (GNC y GNL) (datos: www.iveco.com)

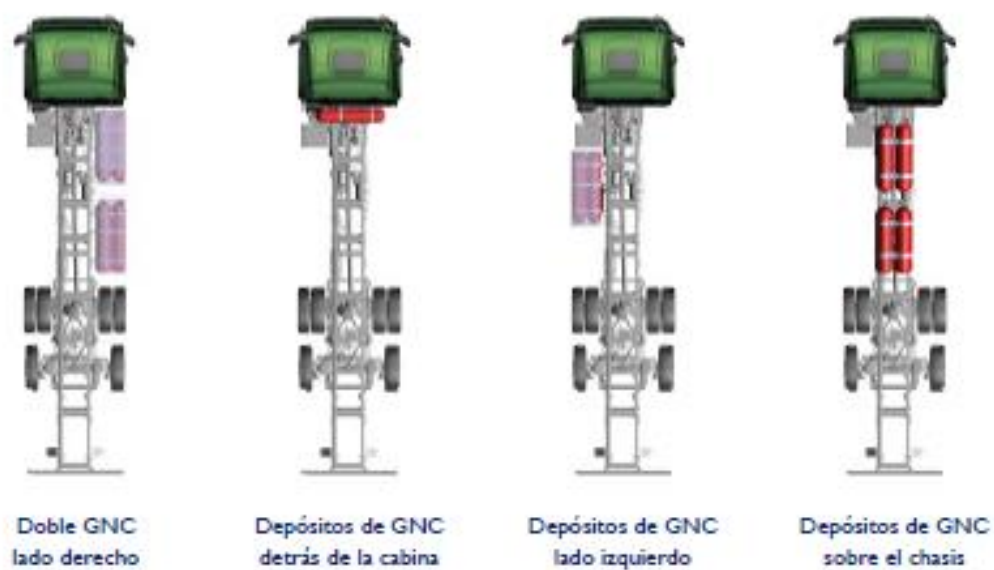
MARCA	IVECO
MODELO	S-WAY NG
TRACCIÓN	4x2
POTENCIA	460CV
TARA	7190 kg
PESO BRUTO	20000 kg
PESO BRUTO COMBINADO	44000 kg
ALTURA	4.04 m
ANCHO (TB)	2.55 m
ÁREA FRONTAL	10.302 m ²

Es importante mencionar en este modelo de IVECO, las diferentes configuraciones que existen para los depósitos, tanto para GNC como GNL. Lo que permite una gran versatilidad para el modelo.

En las diferentes configuraciones de ambos combustibles, se define la posición de los depósitos sobre la cabeza tractora, afectando dicha selección al espacio y la autonomía.

Se obtiene hasta una autonomía máxima en la configuración de gas natural comprimido de 800 kilómetros y de 1700 kilómetros en la configuración de gas natural licuado según su catálogo técnico.

- Configuración depósitos de GNC



Configuración depósitos GNC. Fuente www.iveco.com

- Configuración depósitos de GNL



Configuración depósitos GNL. Fuente: www.iveco.com

ELÉCTRICO

ALIMENTACIÓN POR BATERÍAS

Para este sistema de propulsión, se ha seleccionado uno de los últimos modelos en llegar al mercado del transporte por carretera. Se trata del modelo FH ELECTRIC de la marca VOLVO, que permite montar un grupo de seis baterías de 540kWh.



: Cabeza tractora VOLVO. Fuente: www.volvotrucks.com

A continuación, se muestran sus características:

Características cabeza tractora ELÉCTRICA (www.volvotrucks.com)

MARCA	VOLVO
MODELO	FH ELECTRIC
TRACCIÓN	4x2
POTENCIA	330 kW / 450 CV
BATERÍA	360 kWh / 540 kWh
TARA	7300 kg
PESO BRUTO	18000 kg
PESO BRUTO COMBINADO	40000 kg
ALTURA	3.414 m
ANCHO (TB)	2.5 m
ÁREA FRONTAL	8.535 m ²

ALIMENTACIÓN POR PILA DE COMBUSTIBLE

Para este tipo de sistema de propulsión, los modelos de los siguientes fabricantes se encuentran en desarrollo y aún no tienen definido totalmente un modelo de cabeza tractora para transportes pesados por carretera.

Debido a que no existen datos muy concretos sobre estos modelos, únicamente se va a nombrar algún prototipo como el de Hyundai, el HDC-6 Neptune. Presentado en la feria de Corea en el año 2020.



Concept truck HDC-6 Neptune de Hyundai. Fuente: www.hyundai.com

El cual estaba previsto que se lanzase en los próximos años según aseguraba la marca en esa fecha.

Otra de las marcas, entre otras, que se encuentra desarrollando un vehículo eléctrico pesado de pila de combustible es Iveco. Dicha marca va a utilizar la plataforma de su modelo S-Way para rediseñarla y poder soportar la tecnología de propulsión por pila de combustible

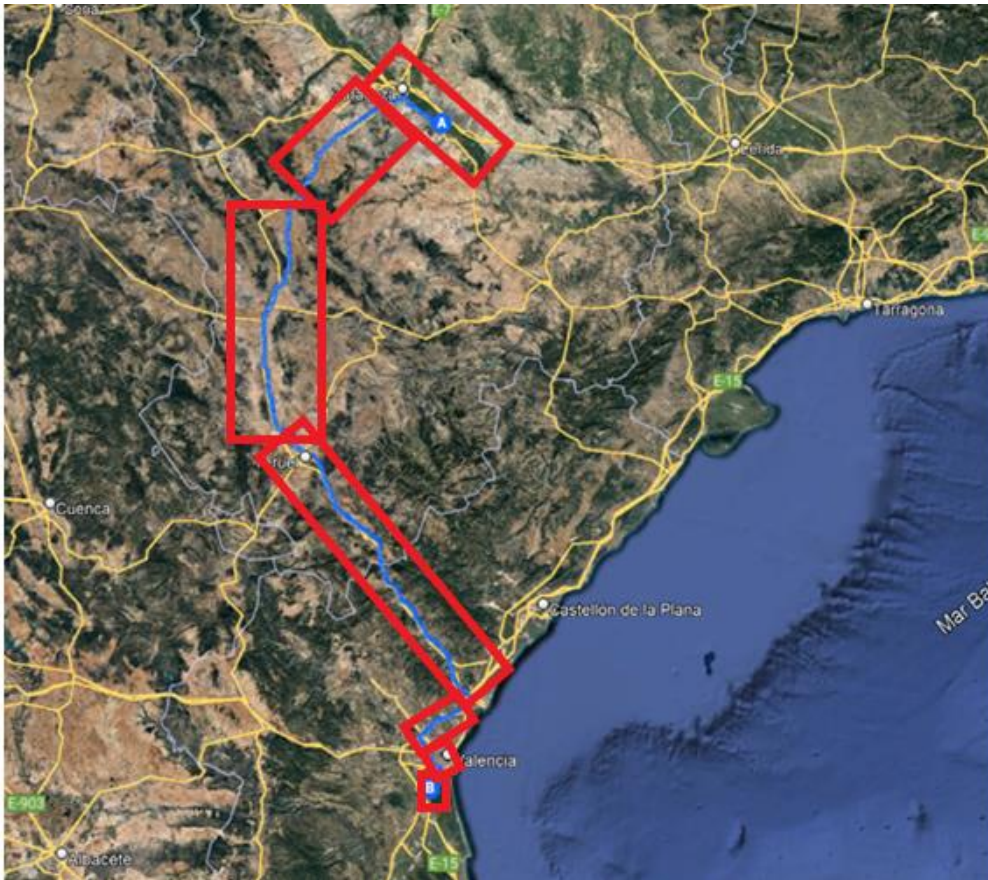


Concept truck IVECO propulsado por pila de combustible. Fuente: www.neomotor.epe.es

ANEXO III: Cálculo de la resistencia del viento

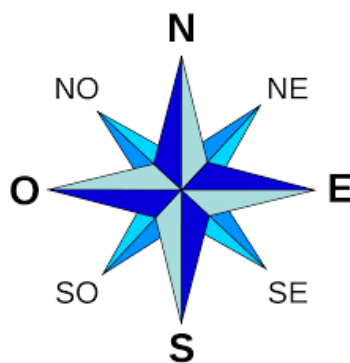
En este Anexo se lleva a cabo el cálculo de la resistencia del viento, en la ruta del 18 de diciembre de 2018 entre El Burgo de Ebro y Silla.

Para definir la dirección de marcha del camión se ha dividido la ruta en varias secciones dónde predomina una única dirección, resultando las siguientes direcciones para cada una de las secciones.



Definición de secciones de la ruta en función de su dirección. Fuente: Elaboración propia con My Google Maps

Estas direcciones se han seleccionado siguiendo la rosa de los vientos



Rosa de los vientos: Fuente: Wikipedia

Por lo tanto, se han obtenido las siguientes direcciones

Definición de los sentidos de la ruta a lo largo de trayecto. Fuente: Elaboración propia

SECCIÓN	DIRECCIÓN
1	NO
2	SO
3	S
4	SE
5	SO
6	SE
7	S

A partir de estos datos, se ha considerado la velocidad media del viento y su dirección, para obtener la resistencia que ejerce el viento en cada una de las secciones definidas.

Por lo que se ha considerado las siguientes direcciones del viento en función de su dirección

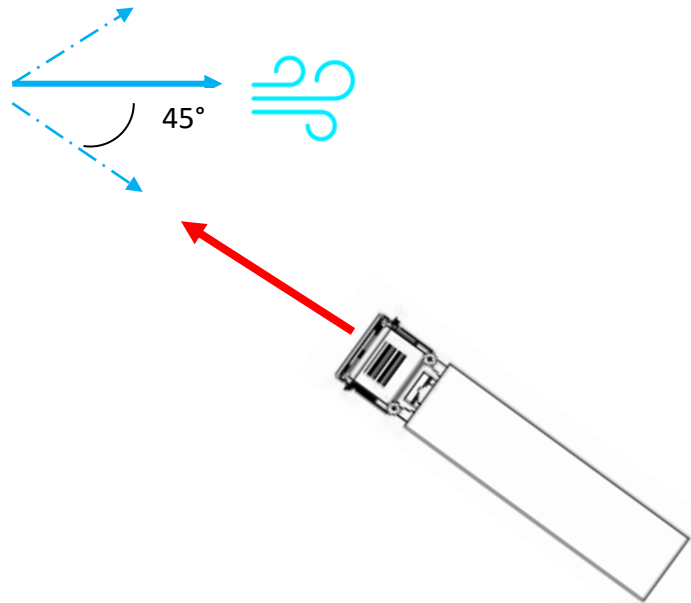
Definición de la dirección del viento. Fuente: Elaboración propia

DIRECCIÓN DEL VIENTO [°]	DIRECCIÓN
0	N
45	NE
90	E
135	SE
180	S
225	SO
270	O
315	NO

Una vez obtenidos todos los datos se calcula la presión que ofrece el viento sobre la superficie frontal del camión.

Para ello calculamos la componente de la velocidad del viento perpendicular a la dirección del camión. Para comprender el cálculo se muestra un ejemplo:

- Dirección de la marcha: NO
- Dirección del viento: E



Ejemplo de cálculo (velocidad media del viento sobre la superficie frontal del vehículo). Fuente: Elaboración propia

Una vez calculada la componente perpendicular al área frontal del camión, se calcula la fuerza de oposición que genera el aire, según la siguiente fórmula:

$$F_{aire}[N] = P_s \cdot A_f \cdot C_w$$

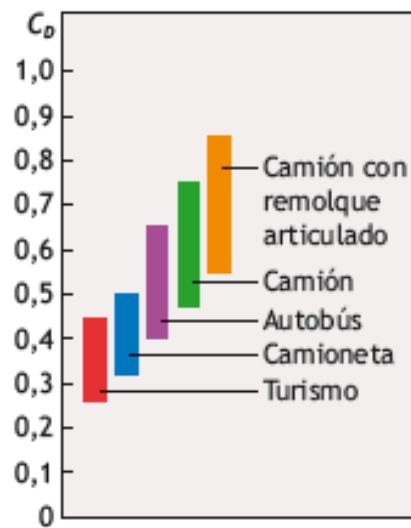
Donde:

- P_s : presión superficial del aire, la cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_s[P_a] = \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot (v \pm v_0)^2$$

- ρ_{aire} : Densidad del aire (1 atm, 25°C, $\rho_{aire} = 1.225 \text{ kg/m}^3$)
- v : Velocidad de marcha del camión [m/s]
- v_0 : Velocidad del viento [m/s]
- El signo positivo indica que el aire sopla en contra de la marcha de camión y el negativo que sopla a favor de la marcha
- A_f : Área frontal el camión [m²]
- C_w : Coeficiente de resistencia al aire de la superficie frontal del camión.

El coeficiente de resistencia al aire varía en función de la tipología del vehículo, tal y como se puede apreciar en la Ilustración 31



Coeficientes de resistencia al aire de distintos vehículos. Fuente: www.macmillaneducation.com

Según el camión definido en el trabajo, el coeficiente de resistencia al aire seleccionado es de $C_w = 0.87$

A continuación, se muestran algunos de los resultados para cada sección de la ruta, debido a la extensión de la hoja de cálculo.

Resultados de Faire de la ruta Burgo de Ebro-Silla del 18/12/2018. Fuente: Elaboración propia.

DIRECCIÓN CAMIÓN	DIRECCIÓN VIENTO	P_s [Pa]	F_{aire} [N]
NO	E	215.38	1249.89
SO	E	387.14	2246.66
S	NE	339.09	1967.83
SE	N	76.75	445.44
SO	E	375.32	2178.06
SE	E	291.49	1691.58
S	E	0.87	5.06

ANEXO IV: Resultados ruta El Burgo de Ebro – Silla

A continuación, se muestran los resultados de los cálculos teóricos de la ruta El Burgo de Ebro – Silla, donde se pueden observar los valores por cada periodo de muestreo.

Cr	A _r [m ²]	Ra [N]	Rr [N]	Wr [J]	ΔEc [J]	ΔEp [J]	Ettotal [kWh]
0,007	9,571 6	169,670 2	2735,71 5	-	-!	-	-
0,006	9,571 6	0	2354,4	1177200	- 6520061,72 8	-3139200	- 2,35612825 8
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	-392400	-0,109
0,006	9,571 6	4,01586 2	2363,42 5	0	154320,987 7	392400	0,15186694 1
0,006	9,571 6	4,01586 2	2363,42 5	0	0	0	0
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	6728599,72 4	11796296,3	6278400	6,88980445
0,007 7	9,571 6	297,013 2	3021,90 4	10620534,2 9	- 537037,037	3139200	3,67297145 9
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	25232248,9 7	537037,037	3139200	8,03013500 1
0,007 7	9,571 6	303,960 6	3037,51 7	6682956,00 6	- 270061,728 4	-4708800	0,47335952 2
0,006 7	9,571 6	121,479 8	2627,41 2	7971787,18 8	- 7012345,67 9	-392400	0,15751153
0,006 2	9,571 6	27,1472 3	2415,41	488511,516 2	-3625000	1177200	- 0,54424680 1
0,006 4	9,571 6	77,7470 9	2529,12 8	1303437,48 3	1944444,44 4	4316400	2,10118942 4
0,007 7	9,571 6	297,013 2	3021,90 4	11284317,6 8	8425925,92 6	2746800 0	13,1050676 7
0,008	9,571 6	347,331 9	3134,99	8705803,68 9	1933641,97 5	-1569600	2,51940157 3
0,007 7	9,571 6	303,960 6	3037,51 7	2673182,40 3	- 1666666,66 7	-7455600	- 1,79141229 6
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	650559,755 8	- 1049382,71 6	1569600	0,32521584 4
0,007 6	9,571 6	283,359 2	2991,21 8	6549154,70 7	257716,049 4	9810000	4,61579743 2
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	1009289,95 9	1061728,39 5	0	0,57528287 6
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	16821499,3 1	0	1098720 0	7,72463869 7
0,007	9,571	310,988	3053,31	25232248,9	0	2668320	14,4209580

8	6	4	1	7		0	5
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	8074319,66 9	0	3531600	3,22386657 5
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	17157929,3	0	1765800 0	9,67109147 1
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	25232248,9 7	0	4198680 0	18,6719580 5
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	25232248,9 7	0	3924000	8,09895804 6
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	25232248,9 7	0	4002480 0	18,1269580 5
0,006 5	9,571 6	92,5254 7	2562,34 1	13805303,5 9	- 8395061,72 8	7651800 0	22,7578449 6
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	19842072,5 6	7075617,28 4	5101200	8,89413606 7
0,008 1	9,571 6	362,431 6	3168,92 4	15891101,4 1	3296296,29 6	6670800	7,18283269 7
0,007 9	9,571 6	332,553 6	3101,77 7	686866,073 3	- 1148148,14 8	-392400	- 0,23713391
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	9083609,62 7	- 828703,703 7	5101200	3,71002942 3
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	25232248,9 7	0	2982240 0	15,2929580 5
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	9420039,61 4	0	1883520 0	7,84867767 1
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	1009289,95 9	0	784800	0,49835832 2
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	14802919,3 9	0	1177200 0	7,38192205 4
0,007 7	9,571 6	303,960 6	3037,51 7	24392789,4 2	- 270061,728 4	- 4316400 0	- 5,28924230 7
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	19516792,6 8	- 1049382,71 6	-1569600	4,69383610 1
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	650559,755 8	0	1569600	0,61671104 3
0,007 3	9,571 6	219,908 6	2848,62	2761675,71 3	- 2180555,55 6	392400	0,27042226 6
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	23094871,3 4	2180555,55 6	-5493600	5,49495191 4
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	23094871,3 4	0	7455600	8,48624203 8
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	23094871,3 4	0	1491120 0	10,5572420 4
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	22769591,4 6	0	-1569600	5,88888651 6
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	23094871,3 4	0	5101200	7,83224203 8
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	23094871,3 4	0	5493600	7,94124203 8
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	23094871,3 4	0	392400	6,52424203 8
0,007 5	9,571 6	270,026 6	2961,25 4	22942095,2 9	- 254629,629 6	9810000	9,02707379 5

0,007 6	9,571 6	283,359 2	2991,21 8	23249499,2 1	512345,679	-8240400	4,31151246 9
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	23745431,0 9	- 257716,049 4	- 3649320 0	- 3,61263471
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	21143192,0 7	0	5022720 0	19,8251089 1
0,007 5	9,571 6	270,026 6	2961,25 4	21649582,8 8	- 254629,629 6	5101200 0	20,1130425 7
0,007 8	9,571 6	318,096 5	3069,28 6	23372939,5 4	1847222,22 2	4316400	8,20460049
0,007 8	9,571 6	318,096 5	3069,28 6	8468456,35 6	0	-9025200	- 0,15465101 2
0,007 4	9,571 6	238,100 5	2889,50 4	625520,916 4	- 3074074,07 4	-1569600	- 1,11615365 5
0,006 9	9,571 6	164,489 7	2724,07 2	577712,382	- 2828703,70 4	-3531600	- 1,60627536 7
0,006 6	9,571 6	104,452 6	2589,14 5	538719,606	- 2307098,76 5	-1962000	- 1,03621643 3
0,007 7	9,571 6	303,960 6	3037,51 7	4678069,20 4	7666666,66 7	-1177200	3,10209329 8
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	4037159,83 5	270061,728 4	6670800	3,04945043 4
0,007 9	9,571 6	339,902 6	3118,29 3	6224751,91 9	1111111,11 1	- 1334160 0	- 1,66826026 9
0,007 7	9,571 6	303,960 6	3037,51 7	1002443,40 1	- 1381172,84	-2746800	- 0,86820262 2
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	18167219,2 6	270061,728 4	- 4002480 0	- 5,99653306
0,007 8	9,571 6	318,096 5	3069,28 6	24727892,5 6	273148,148 1	- 3610080 0	- 3,08326647
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	24222959,0 1	- 273148,148 1	-3531600	5,67172523 9
0,007 6	9,571 6	276,652 8	2976,14 6	22769591,4 6	- 1319444,44 4	1334160 0	9,66437417
0,007 2	9,571 6	214,005 3	2835,35 3	6403652,23 7	- 2407407,40 7	6670800	2,96306800 8
0,006 7	9,571 6	125,937 4	2637,43	552673,542 6	- 3384259,25 9	1962000	- 0,24155158 8
0,006 4	9,571 6	64,2538	2498,80 3	256305,699 6	- 2370370,37	784800	- 0,36924018 6
0,006 2	9,571 6	33,7734	2430,30 2	1724852,73 4	- 1171296,29 6	4316400	1,35276567 7
0,006	9,571 6	0	2354,4	235439,999 9	- 1297839,50	1177200	0,03188902 6

					6		
0,006	9,571 6	0,36142 8	2355,21 2	0	13888,8888 9	392400	0,11285802 5
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	- 13888,8888 9	0	- 0,00385802 5
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	0	0
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	0	0
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	392400	0,109
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	0	0
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	0	0
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	0	0
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	0	0
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	784800	0,218
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	1177200	0,327
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	0	0
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	-784800	-0,218
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	392400	0,109
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	-392400	-0,109
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	0	0
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	0	0
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	392400	0,109
0,006	9,571 6	1,96777 3	2358,82 2	0	75617,2839 5	-392400	- 0,08799519 9
0,006	9,571 6	1,00396 6	2356,65 6	0	- 37037,0370 4	0	- 0,01028806 6
0,006 1	9,571 6	19,4367 7	2398,08 2	483503,748 3	708333,333 3	-784800	0,11306585 6
0,006 2	9,571 6	27,1472 3	2415,41	0	296296,296 3	0	0,08230452 7
0,006 1	9,571 6	25,0991 4	2410,80 8	243590,664	- 78703,7037	0	0,04580193 3
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	11438619,5 3	10986111,1 1	392400	6,33809184 5
0,007 7	9,571 6	290,146	3006,47 1	2966955,07 4	- 800925,925 9	6278400	2,34567476 3
0,008	9,571 6	347,331 9	3134,99	2785857,18	2197530,86 4	- 1294920 0	- 2,21272554 3
0,007 9	9,571 6	332,553 6	3101,77 7	1030299,11	- 567901,234	-4708800	- 1,17955614

					6		6
0,007 9	9,571 6	332,553 6	3101,77 7	1030299,11	0	-4708800	- 1,02180580 3
0,007 9	9,571 6	332,553 6	3101,77 7	686866,073 3	0	-3924000	- 0,89920386 9
0,007 8	9,571 6	318,096 5	3069,28 6	16936912,7 1	- 555555,555 6	- 8240400 0	- 18,3396230 1
0,007 8	9,571 6	318,096 5	3069,28 6	25744107,3 2	0	- 8397360 0	- 16,1748590 8
0,007 8	9,571 6	318,096 5	3069,28 6	22695463,0 3	0	- 2393640 0	- 0,34470471 3
0,007 3	9,571 6	225,892 3	2862,06 8	22542106,1 9	- 3543209,87 7	- 5650560 0	- 10,4185288
0,008 1	9,571 6	362,431 6	3168,92 4	3884491,45 7	5246913,58	-7848000	0,35650139 9
0,007 8	9,571 6	318,096 5	3069,28 6	1016214,76 3	- 1703703,70 4	-1962000	- 0,73596915
0,006 9	9,571 6	164,489 7	2724,07 2	16753659,0 8	- 5902777,77 8	- 1451880 0	- 1,01886630 5
0,007 7	9,571 6	290,146	3006,47 1	7252556,84 8	4828703,70 4	-2354400	2,70190570 9
0,007 5	9,571 6	257,015 2	2932,01 3	3189027,98 5	- 1273148,14 8	5886000	2,16718884 4
0,007 8	9,571 6	318,096 5	3069,28 6	3048644,28 8	2347222,22 2	- 1059480 0	- 1,44414819 2
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	672859,972 5	- 273148,148 1	-3139200	- 0,76096893 8
0,007 6	9,571 6	283,359 2	2991,21 8	8513901,11 9	- 1061728,39 5	- 1412640 0	- 1,85395202 1
0,007 7	9,571 6	303,960 6	3037,51 7	24058641,6 2	791666,666 7	- 3688560 0	- 3,34313658 6
0,007 6	9,571 6	283,359 2	2991,21 8	16700344,5	- 791666,666 7	- 2511360 0	- 2,55692282 3
0,007 4	9,571 6	238,100 5	2889,50 4	1876562,74 9	- 1739197,53 1	-3531600	- 0,94284299 5
0,007 6	9,571 6	283,359 2	2991,21 8	4256950,56	1739197,53 1	392400	1,77459669 2
0,007 4	9,571 6	238,100 5	2889,50 4	7819011,45 5	- 1739197,53 1	-392400	1,57983720 1
0,007 8	9,571 6	310,988 4	3053,31 1	9420039,61 4	2800925,92 6	1059480 0	6,33771265
0,007 8	9,571 6	318,096 5	3069,28 6	5758550,32 2	273148,148 1	2354400	2,32947179 7
0,007	9,571	310,988	3053,31	25232248,9	-	2746800	7,69608356

8	6	4	1	7	273148,148		
0,007	9,571	325,284	3085,44	22510791,8	549382,716	1412640	10,3296040
9	6	8	1	9		0	6
0,007	9,571	297,013	3021,90	663783,393	-		-
7	6	2	4	1	1086419,75	-2746800	0,88039898
					3		9
0,007	9,571	318,096	3069,28	2371167,78	810185,185	-5101200	-
8	6	5	6		2		0,53329084
							3
0,007	9,571	325,284	3085,44	11937541,1	276234,567	-	0,44971547
9	6	8	1	5	9	1059480	8
						0	
0,007	9,571	318,096	3069,28	0	-		-
8	6	5	6		276234,567	0	0,07673182
					9		4
0,007	9,571	283,359	2991,21	13098309,4	-		-
6	6	2	8	1	1334876,54	-5101200	1,85062024
					3		2
0,007	9,571	310,988	3053,31	24895818,9	1061728,39	-	4,37642982
8	6	4	1	8	5	1020240	6
						0	
0,007	9,571	238,100	2889,50	3440365,04	-		-
4	6	5	4		2800925,92	-3531600	0,80337802
					6		4
0,007	9,571	225,892	2862,06	926387,925	-		-
3	6	3	8	7	469135,802	0	0,12701447
					5		9
0,007	9,571	318,096	3069,28	19646818,7	3543209,87	784800	6,65967461
8	6	5	6	5	7		7
0,006	9,571	144,571	2679,30	11860288,6	-		-
8	6		7	2	6668209,87	5886000	3,07724409
					7		4
0,006	9,571	29,2756	2420,19	489893,868	-		-
2	6	4	4	8	4430555,55	-2354400	1,74862824
					6		6
0,006	9,571	52,0455	2471,36	757023,650	875000	784800	0,67133990
3	6	8	7	1			3
0,006	9,571	25,0991	2410,80	243590,663	-		-
1	6	4	8	9	1035493,82	-1962000	0,76497310
					7		1
0,006	9,571	57,9890	2484,72	254271,294	1263888,88	-392400	0,31271116
3	6	5	4		9		2
0,006	9,571	25,0991	2410,80	243590,663	-		-
1	6	4	8	9	1263888,88	2354400	0,37058382
					9		6
0,006	9,571	52,0455	2471,36	252341,216	1035493,82	-392400	0,24873195
3	6	8	7	8	7		7
0,006	9,571	49,1943	2464,95	1508491,80	-		-
3	6	1	9	8	109567,901	-1569600	0,04741002
					2		6
0,006	9,571	0	2354,4	235439,999	-		-
	6			9	1890432,09	1962000	0,08527997
					9		3
0,006	9,571	0	2354,4	0	0	0	0
	6						
0,006	9,571	0,64253	2355,84	0	24691,3580	784800	0,22485871
	6	8	4		2		1
0,006	9,571	1,44571	2357,64	0	30864,1975	-392400	-
	6		9		3		0,10042661

							2
0,006 1	9,571 6	19,4367 7	2398,08 2	241751,874 2	691358,024 7	-1962000	- 0,28580280 6
0,006	9,571 6	0	2354,4	235439,999 9	- 746913,580 2	1177200	0,18492400 5
0,006	9,571 6	0	2354,4	0	0	0	0

ANEXO V: Datos rutas seleccionadas

En este ANEXO se presentan los datos obtenidos de distancia y altitud de las rutas seleccionadas, tras el proceso de conversión del KMZ de la ruta. Así como los valores de velocidad y pendiente a lo largo del trayecto.

ZARAGOZA - MADRID

Trayecto [km]	Trayecto [m]	Velocidad [km/h]	Velocidad [m/s]	Altitud [m]	Pendiente	Pendiente [%]
0	0	0	0	272,536	0,0000	0
1	1000	87,768	24,38	277	0,0045	0,45%
2	2000	81,599	22,66638889	293,802	0,0168	1,68%
3	3000	77,071	21,40861111	319,66	0,0259	2,59%
4	4000	83,172	23,10333333	333,316	0,0137	1,37%
5	5000	88,9635	24,71208333	335,389	0,0021	0,21%
6	6000	88,0625	24,46180556	339,264	0,0039	0,39%
7	7000	85,748	23,81888889	347,768	0,0085	0,85%
8	8000	76,876	21,35444444	374,016	0,0262	2,62%
9	9000	75,5065	20,97402778	403,003	0,0290	2,90%
10	10000	66,507	18,47416667	449,989	0,0470	4,70%
11	11000	73,2435	20,34541667	483,502	0,0335	3,35%
12	12000	59,1775	16,43819444	545,147	0,0616	6,00%
13	13000	74,1635	20,60097222	576,82	0,0317	3,17%
14	14000	77,41	21,50277778	602	0,0252	2,52%
15	15000	90	25	596,843	-0,0052	-0,52%
16	16000	83,214	23,115	610,415	0,0136	1,36%
17	17000	88,91	24,69722222	612,595	0,0022	0,22%
18	18000	90	25	582,584	-0,0300	-3,00%
19	19000	90	25	531,747	-0,0508	-5,08%
20	20000	90	25	499,716	-0,0320	-3,20%
21	21000	90	25	489,748	-0,0100	-1,00%
22	22000	90	25	464,677	-0,0251	-2,51%
23	23000	90	25	427,221	-0,0375	-3,75%
24	24000	90	25	413,178	-0,0140	-1,40%
25	25000	90	25	408,037	-0,0051	-0,51%
26	26000	83,66	23,23888889	420,717	0,0127	1,27%
27	27000	90	25	417,168	-0,0035	-0,35%
28	28000	87,0095	24,16930556	423,149	0,0060	0,60%
29	29000	90	25	402,874	-0,0203	-2,03%
30	30000	90	25	383,848	-0,0190	-1,90%
31	31000	90	25	370,056	-0,0138	-1,38%

32	32000	90	25	367,621	-0,0024	-0,24%
33	33000	89,8105	24,94736111	368	0,0004	0,04%
34	34000	90	25	359,748	-0,0083	-0,83%
35	35000	89,3705	24,82513889	361,007	0,0013	0,13%
36	36000	89,8995	24,97208333	361,208	0,0002	0,02%
37	37000	90	25	357,414	-0,0038	-0,38%
38	38000	86,455	24,01527778	364,504	0,0071	0,71%
39	39000	76,65	21,29166667	391,204	0,0267	2,67%
40	40000	90	25	375,671	-0,0155	-1,55%
41	41000	90	25	363	-0,0127	-1,27%
42	42000	71,979	19,99416667	399,042	0,0360	3,60%
43	43000	79,401	22,05583333	420,24	0,0212	2,12%
44	44000	90	25	401,3	-0,0189	-1,89%
45	45000	61,32	17,03333333	458,66	0,0574	5,74%
46	46000	62,572	17,38111111	513,516	0,0549	5,49%
47	47000	64,247	17,84638889	565,022	0,0515	5,15%
48	48000	90	25	532,563	-0,0325	-3,25%
49	49000	90	25	518,745	-0,0138	-1,38%
50	50000	90	25	485,261	-0,0335	-3,35%
51	51000	87,1605	24,21125	490,94	0,0057	0,57%
52	52000	66,148	18,37444444	538,644	0,0477	4,77%
53	53000	62,8635	17,46208333	592,917	0,0543	5,43%
54	54000	65,006	18,05722222	642,905	0,0500	5,00%
55	55000	72,9865	20,27402778	676,932	0,0340	3,40%
56	56000	90	25	655,59	-0,0213	-2,13%
57	57000	75,2645	20,90680556	685,061	0,0295	2,95%
58	58000	70,916	19,69888889	723,229	0,0382	3,82%
59	59000	69,6415	19,34486111	763,946	0,0407	4,07%
60	60000	90	25	738,838	-0,0251	-2,51%
61	61000	90	25	696,229	-0,0426	-4,26%
62	62000	90	25	674,037	-0,0222	-2,22%
63	63000	67,762	18,82277778	718,513	0,0445	4,45%
64	64000	71,639	19,89972222	755,235	0,0367	3,67%
65	65000	90	25	708,501	-0,0467	-4,67%
66	66000	90	25	671,636	-0,0369	-3,69%
67	67000	90	25	641,561	-0,0301	-3,01%
68	68000	90	25	591,629	-0,0499	-4,99%
69	69000	90	25	543,621	-0,0480	-4,80%
70	70000	82,792	22,99777778	558,037	0,0144	1,44%
71	71000	90	25	546,706	-0,0113	-1,13%
72	72000	87,6355	24,34319444	551,435	0,0047	0,47%
73	73000	75,7565	21,04347222	579,922	0,0285	2,85%
74	74000	90	25	564,626	-0,0153	-1,53%
75	75000	90	25	540,311	-0,0243	-2,43%
76	76000	81,2615	22,57263889	557,788	0,0175	1,75%
77	77000	81,036	22,51	575,716	0,0179	1,79%

78	78000	90	25	575,018	-0,0007	-0,07%
79	79000	87,4355	24,28763889	580,147	0,0051	0,51%
80	80000	87,7125	24,36458333	584,722	0,0046	0,46%
81	81000	89,0575	24,73819444	586,607	0,0019	0,19%
82	82000	82,3425	22,87291667	601,922	0,0153	1,53%
83	83000	90	25	595,46	-0,0065	-0,65%
84	84000	87,8485	24,40236111	599,763	0,0043	0,43%
85	85000	90	25	592,143	-0,0076	-0,76%
86	86000	88,828	24,67444444	594,487	0,0023	0,23%
87	87000	74,1025	20,58402778	626,282	0,0318	3,18%
88	88000	90	25	611,512	-0,0148	-1,48%
89	89000	84,6385	23,51069444	622,235	0,0107	1,07%
90	90000	85,4095	23,72486111	631,416	0,0092	0,92%
91	91000	72,6145	20,17069444	666,187	0,0348	3,48%
92	92000	71,552	19,87555556	703,083	0,0369	3,69%
93	93000	82,763	22,98972222	717,557	0,0145	1,45%
94	94000	90	25	693,676	-0,0239	-2,39%
95	95000	69,1845	19,21791667	735,307	0,0416	4,16%
96	96000	90	25	663,391	-0,0600	-6,00%
97	97000	68,6865	19,07958333	706,018	0,0426	4,26%
98	98000	76,6555	21,29319444	732,707	0,0267	2,67%
99	99000	90	25	722,521	-0,0102	-1,02%
100	100000	90	25	680,632	-0,0419	-4,19%
101	101000	90	25	671,168	-0,0095	-0,95%
102	102000	86,786	24,10722222	677,596	0,0064	0,64%
103	103000	88,17	24,49166667	681,256	0,0037	0,37%
104	104000	86,9655	24,15708333	687,325	0,0061	0,61%
105	105000	90	25	682,94	-0,0044	-0,44%
106	106000	88,483	24,57861111	685,974	0,0030	0,30%
107	107000	88,987	24,71861111	688	0,0020	0,20%
108	108000	88,221	24,50583333	691,558	0,0036	0,36%
109	109000	83,8185	23,28291667	703,921	0,0124	1,24%
110	110000	88,3015	24,52819444	707,318	0,0034	0,34%
111	111000	81,862	22,73944444	723,594	0,0163	1,63%
112	112000	78,093	21,6925	747,408	0,0238	2,38%
113	113000	90	25	736,055	-0,0114	-1,14%
114	114000	90	25	732,928	-0,0031	-0,31%
115	115000	81,9765	22,77125	748,975	0,0160	1,60%
116	116000	89,283	24,80083333	750,409	0,0014	0,14%
117	117000	90	25	731,928	-0,0185	-1,85%
118	118000	85,324	23,70111111	741,28	0,0094	0,94%
119	119000	90	25	738,501	-0,0028	-0,28%
120	120000	86,3975	23,99930556	745,706	0,0072	0,72%
121	121000	88,905	24,69583333	747,896	0,0022	0,22%
122	122000	86,948	24,15222222	754	0,0061	0,61%
123	123000	87	24,16666667	760	0,0060	0,60%

124	124000	90	25	757,885	-0,0021	-0,21%
125	125000	70,069	19,46361111	797,747	0,0399	3,99%
126	126000	84,686	23,52388889	808,375	0,0106	1,06%
127	127000	90	25	780,485	-0,0279	-2,79%
128	128000	87,8265	24,39625	784,832	0,0043	0,43%
129	129000	88,98	24,71666667	786,872	0,0020	0,20%
130	130000	86,356	23,98777778	794,16	0,0073	0,73%
131	131000	84,036	23,34333333	806,088	0,0119	1,19%
132	132000	87,399	24,2775	811,29	0,0052	0,52%
133	133000	85,7055	23,80708333	819,879	0,0086	0,86%
134	134000	88,1295	24,48041667	823,62	0,0037	0,37%
135	135000	74,386	20,66277778	854,848	0,0312	3,12%
136	136000	89,7925	24,94236111	855,263	0,0004	0,04%
137	137000	90	25	831,036	-0,0242	-2,42%
138	138000	50,9525	14,15347222	909,131	0,0781	6,00%
139	139000	66,7515	18,54208333	955,628	0,0465	4,65%
140	140000	79,622	22,11722222	976,384	0,0208	2,08%
141	141000	90	25	963,909	-0,0125	-1,25%
142	142000	75,98	21,10555556	991,949	0,0280	2,80%
143	143000	76,353	21,20916667	1019,243	0,0273	2,73%
144	144000	76,7235	21,31208333	1045,796	0,0266	2,66%
145	145000	70,6665	19,62958333	1084,463	0,0387	3,87%
146	146000	90	25	1046,84	-0,0376	-3,76%
147	147000	90	25	1019,242	-0,0276	-2,76%
148	148000	90	25	995	-0,0242	-2,42%
149	149000	87,5285	24,31347222	999,943	0,0049	0,49%
150	150000	87,526	24,31277778	1004,891	0,0049	0,49%
151	151000	82,795	22,99861111	1019,301	0,0144	1,44%
152	152000	89,5155	24,86541667	1020,27	0,0010	0,10%
153	153000	88,183	24,49527778	1023,904	0,0036	0,36%
154	154000	88,8465	24,67958333	1026,211	0,0023	0,23%
155	155000	84,7985	23,55513889	1036,614	0,0104	1,04%
156	156000	90	25	1035,963	-0,0007	-0,07%
157	157000	82,7315	22,98097222	1050,5	0,0145	1,45%
158	158000	69,5555	19,32097222	1091,389	0,0409	4,09%
159	159000	70,917	19,69916667	1129,555	0,0382	3,82%
160	160000	73,3305	20,36958333	1162,894	0,0333	3,33%
161	161000	90	25	1147,11	-0,0158	-1,58%
162	162000	90	25	1135,848	-0,0113	-1,13%
163	163000	80,6355	22,39875	1154,577	0,0187	1,87%
164	164000	89,7625	24,93402778	1155,052	0,0005	0,05%
165	165000	64,6375	17,95486111	1205,777	0,0507	5,07%
166	166000	86,374	23,99277778	1213,029	0,0073	0,73%
167	167000	90	25	1199	-0,0140	-1,40%
168	168000	90	25	1189,527	-0,0095	-0,95%
169	169000	89,3715	24,82541667	1190,784	0,0013	0,13%

170	170000	90	25	1177,332	-0,0135	-1,35%
171	171000	88,141	24,48361111	1181,05	0,0037	0,37%
172	172000	87,342	24,26166667	1186,366	0,0053	0,53%
173	173000	90	25	1146,556	-0,0398	-3,98%
174	174000	90	25	1107,127	-0,0394	-3,94%
175	175000	72,173	20,04805556	1142,781	0,0357	3,57%
176	176000	72,451	20,12527778	1177,879	0,0351	3,51%
177	177000	90	25	1167,14	-0,0107	-1,07%
178	178000	90	25	1160,887	-0,0063	-0,63%
179	179000	90	25	1154,927	-0,0060	-0,60%
180	180000	89,848	24,95777778	1155,231	0,0003	0,03%
181	181000	90	25	1119,027	-0,0362	-3,62%
182	182000	90	25	1076,656	-0,0424	-4,24%
183	183000	85,812	23,83666667	1085,032	0,0084	0,84%
184	184000	81,3285	22,59125	1102,375	0,0173	1,73%
185	185000	89,42	24,83888889	1103,535	0,0012	0,12%
186	186000	76,2675	21,18541667	1131	0,0275	2,75%
187	187000	90	25	1129,182	-0,0018	-0,18%
188	188000	90	25	1126,547	-0,0026	-0,26%
189	189000	90	25	1105	-0,0215	-2,15%
190	190000	88,796	24,66555556	1107,408	0,0024	0,24%
191	191000	90	25	1090,067	-0,0173	-1,73%
192	192000	90	25	1083,095	-0,0070	-0,70%
193	193000	90	25	1067,508	-0,0156	-1,56%
194	194000	89,9435	24,98430556	1067,621	0,0001	0,01%
195	195000	90	25	1060,929	-0,0067	-0,67%
196	196000	90	25	1060,689	-0,0002	-0,02%
197	197000	90	25	1054,291	-0,0064	-0,64%
198	198000	90	25	1051,699	-0,0026	-0,26%
199	199000	84,204	23,39	1063,291	0,0116	1,16%
200	200000	90	25	1061,922	-0,0014	-0,14%
201	201000	90	25	1061,389	-0,0005	-0,05%
202	202000	90	25	1057	-0,0044	-0,44%
203	203000	90	25	1052	-0,0050	-0,50%
204	204000	90	25	1049,828	-0,0022	-0,22%
205	205000	90	25	1045,989	-0,0038	-0,38%
206	206000	90	25	1041,036	-0,0050	-0,50%
207	207000	90	25	1037,529	-0,0035	-0,35%
208	208000	90	25	1035,977	-0,0016	-0,16%
209	209000	89,9985	24,99958333	1035,98	0,0000	0,00%
210	210000	90	25	1024,267	-0,0117	-1,17%
211	211000	90	25	1023,301	-0,0010	-0,10%
212	212000	88,0625	24,46180556	1027,176	0,0039	0,39%
213	213000	90	25	1023,376	-0,0038	-0,38%
214	214000	88,416	24,56	1026,544	0,0032	0,32%
215	215000	90	25	1020,697	-0,0058	-0,58%

216	216000	90	25	1018,521	-0,0022	-0,22%
217	217000	90	25	1013,876	-0,0046	-0,46%
218	218000	90	25	1005,864	-0,0080	-0,80%
219	219000	90	25	998,18	-0,0077	-0,77%
220	220000	90	25	997,199	-0,0010	-0,10%
221	221000	90	25	996,592	-0,0006	-0,06%
222	222000	89,165	24,76805556	998,262	0,0017	0,17%
223	223000	90	25	994,81	-0,0035	-0,35%
224	224000	90	25	983,02	-0,0118	-1,18%
225	225000	90	25	979,093	-0,0039	-0,39%
226	226000	90	25	975,964	-0,0031	-0,31%
227	227000	90	25	965,912	-0,0101	-1,01%
228	228000	90	25	935,948	-0,0300	-3,00%
229	229000	90	25	882,962	-0,0530	-5,30%
230	230000	90	25	855,448	-0,0275	-2,75%
231	231000	90	25	836,528	-0,0189	-1,89%
232	232000	90	25	824	-0,0125	-1,25%
233	233000	90	25	810,728	-0,0133	-1,33%
234	234000	90	25	799,306	-0,0114	-1,14%
235	235000	90	25	791,788	-0,0075	-0,75%
236	236000	89,084	24,74555556	793,62	0,0018	0,18%
237	237000	90	25	774,728	-0,0189	-1,89%
238	238000	90	25	759,926	-0,0148	-1,48%
239	239000	90	25	740,93	-0,0190	-1,90%
240	240000	90	25	721,752	-0,0192	-1,92%
241	241000	81,2125	22,55902778	739,327	0,0176	1,76%
242	242000	90	25	723,474	-0,0159	-1,59%
243	243000	85,7735	23,82597222	731,927	0,0085	0,85%
244	244000	90	25	729,576	-0,0024	-0,24%
245	245000	88,169	24,49138889	733,238	0,0037	0,37%
246	246000	90	25	716,699	-0,0165	-1,65%
247	247000	90	25	688,187	-0,0285	-2,85%
248	248000	90	25	639,674	-0,0485	-4,85%
249	249000	90	25	635,492	-0,0042	-0,42%
250	250000	90	25	634	-0,0015	-0,15%
251	251000	90	25	630,172	-0,0038	-0,38%
252	252000	90	25	628,995	-0,0012	-0,12%
253	253000	90	25	627,764	-0,0012	-0,12%
254	254000	90	25	625,382	-0,0024	-0,24%
255	255000	90	25	621,804	-0,0036	-0,36%
256	256000	90	25	620	-0,0018	-0,18%
257	257000	90	25	618	-0,0020	-0,20%
258	258000	90	25	615,978	-0,0020	-0,20%
259	259000	90	25	612	-0,0040	-0,40%
260	260000	90	25	610	-0,0020	-0,20%
261	261000	90	25	607,001	-0,0030	-0,30%

262	262000	90	25	605,195	-0,0018	-0,18%
263	263000	90	25	602,956	-0,0022	-0,22%
264	264000	90	25	599,926	-0,0030	-0,30%
265	265000	89,823	24,95083333	600,28	0,0004	0,04%
266	266000	90	25	596	-0,0043	-0,43%
267	267000	88,2125	24,50347222	599,575	0,0036	0,36%
268	268000	90	25	596,724	-0,0029	-0,29%
269	269000	87,6475	24,34652778	601,429	0,0047	0,47%
270	270000	88,8645	24,68458333	603,7	0,0023	0,23%
271	271000	90	25	597,905	-0,0058	-0,58%
272	272000	90	25	597,761	-0,0001	-0,01%
273	273000	90	25	594	-0,0038	-0,38%
274	274000	90	25	585	-0,0090	-0,90%
275	275000	90	25	585	0,0000	0,00%
276	276000	90	25	580,581	-0,0044	-0,44%
277	277000	83,618	23,22722222	593,345	0,0128	1,28%
278	278000	90	25	587,973	-0,0054	-0,54%
279	279000	88,5505	24,59736111	590,872	0,0029	0,29%
280	280000	90	25	590	-0,0009	-0,09%
281	281000	88,19	24,49722222	593,62	0,0036	0,36%
282	282000	89,81	24,94722222	594	0,0004	0,04%
283	283000	90	25	588,56	-0,0054	-0,54%
284	284000	90	25	575,645	-0,0129	-1,29%
285	285000	90	25	574,717	-0,0009	-0,09%
286	286000	88,3585	24,54402778	578	0,0033	0,33%
287	287000	90	25	568,424	-0,0096	-0,96%
288	288000	90	25	559	-0,0094	-0,94%
289	289000	88,9655	24,71263889	561,069	0,0021	0,21%
290	290000	90	25	557,387	-0,0037	-0,37%
291	291000	90	25	550,572	-0,0068	-0,68%
292	292000	66,8305	18,56402778	596,911	0,0463	4,63%
293	293000	70,7255	19,64597222	635,46	0,0385	3,85%
294	294000	89,889	24,96916667	635,682	0,0002	0,02%
295	295000	81,686	22,69055556	652,31	0,0166	1,66%
296	296000	90	25	622	-0,0303	-3,03%
297	297000	90	25	601,323	-0,0207	-2,07%
298	298000	90	25	595,849	-0,0055	-0,55%
299	299000	88,4245	24,56236111	599	0,0032	0,32%
300	300000	88,614	24,615	601,772	0,0028	0,28%
301	301000	79,366	22,04611111	623,04	0,0213	2,13%
302	302000	87,5045	24,30680556	628,031	0,0050	0,50%
303	303000	90	25	612,987	-0,0150	-1,50%
304	304000	90	25	593	-0,0200	-2,00%
305	305000	90	25	581,861	-0,0111	-1,11%
306	306000	90	25	567,75	-0,0141	-1,41%
307	307000	90	25	565,227	-0,0025	-0,25%

308	308000	90	25	560,497	-0,0047	-0,47%
309	309000	82,2515	22,84763889	575,994	0,0155	1,55%
310	310000	85,05	23,625	585,894	0,0099	0,99%
311	311000	88,947	24,7075	588	0,0021	0,21%
312	312000	89,5	24,86111111	589	0,0010	0,10%
313	313000	89,9585	24,98847222	589,083	0,0001	0,01%
314	314000	83,2545	23,12625	602,574	0,0135	1,35%
315	315000	83,0755	23,07652778	616,423	0,0138	1,38%
316	316000	90	25	613,34	-0,0031	-0,31%
317	317000	88,1755	24,49319444	616,989	0,0036	0,36%
318	318000	88,965	24,7125	619,059	0,0021	0,21%
319	319000	89,199	24,7775	620,661	0,0016	0,16%
320	320000	88,7775	24,66041667	623,106	0,0024	0,24%
321	321000	84,915	23,5875	633,276	0,0102	1,02%
322	322000	88,6695	24,63041667	635,937	0,0027	0,27%

VALENCIA-BARCELONA

Trayecto [km]	Trayecto [m]	Velocidad [km/h]	Velocidad [m/s]	Altitud [m]	Pendiente	Pendiente [%]
0	0	0	0	8,128	0,0000	0
1	1000	87,3651376 1	24,2680937 8	11	0,0029	0,29%
2	2000	75,5045871 6	20,9734964 3	26,8	0,0158	1,58%
3	3000	90	25	26,075	-0,0007	-0,07%
4	4000	82,9174311 9	23,0326197 8	33,795	0,0077	0,77%
5	5000	90	25	24,251	-0,0095	-0,95%
6	6000	86,5605504 6	24,0445973 5	28	0,0037	0,37%
7	7000	87,0394495 4	24,1776248 7	31,227	0,0032	0,32%
8	8000	88,9844036 7	24,7178899 1	32,334	0,0011	0,11%
9	9000	85,3779816 5	23,7161060 1	37,372	0,0050	0,50%
10	10000	80,6917431 2	22,4143730 9	47,518	0,0101	1,01%
11	11000	69,4036697 2	19,2787971 5	69,968	0,0225	2,25%
12	12000	76,2651376 1	21,1847604 5	84,939	0,0150	1,50%
13	13000	78,0146789	21,6707441 4	98,003	0,0131	1,31%
14	14000	90	25	82,361	-0,0156	-1,56%
15	15000	89,4137614 7	24,8371559 6	83	0,0006	0,06%
16	16000	90	25	72	-0,0110	-1,10%
17	17000	86,5844036 7	24,0512232 4	75,723	0,0037	0,37%

18	18000	90	25	74,622	-0,0011	-0,11%
19	19000	83,2311926 6	23,1197757 4	82	0,0074	0,74%
20	20000	86,0486238 5	23,9023955 1	86,307	0,0043	0,43%
21	21000	86,0899082 6	23,9138634	90,569	0,0043	0,43%
22	22000	87,9752293 6	24,4375637 1	92,776	0,0022	0,22%
23	23000	85,1082568 8	23,6411824 7	98,108	0,0053	0,53%
24	24000	90	25	87,171	-0,0109	-1,09%
25	25000	86,0504587 2	23,9029052	91,476	0,0043	0,43%
26	26000	90	25	88,788	-0,0027	-0,27%
27	27000	83,1779816 5	23,1049949	96,224	0,0074	0,74%
28	28000	90	25	79,18	-0,0170	-1,70%
29	29000	90	25	63,123	-0,0161	-1,61%
30	30000	82,8486238 5	23,0135066 3	70,918	0,0078	0,78%
31	31000	72,9321100 9	20,2589194 7	89,522	0,0186	1,86%
32	32000	90	25	77,21	-0,0123	-1,23%
33	33000	79,0541284 4	21,9594801 2	89,141	0,0119	1,19%
34	34000	77,2155963 3	21,4487767 6	103,07 6	0,0139	1,39%
35	35000	84,0293578	23,3414882 8	109,58 4	0,0065	0,65%
36	36000	90	25	92,105	-0,0175	-1,75%
37	37000	90	25	73,806	-0,0183	-1,83%
38	38000	85,0954128 4	23,6376146 8	79,152	0,0053	0,53%
39	39000	90	25	65,033	-0,0141	-1,41%
40	40000	90	25	61,445	-0,0036	-0,36%
41	41000	90	25	61,064	-0,0004	-0,04%
42	42000	90	25	59,685	-0,0014	-0,14%
43	43000	90	25	51,959	-0,0077	-0,77%
44	44000	89,3880733 9	24,8300203 9	52,626	0,0007	0,07%
45	45000	88,5201834 9	24,5889398 6	54,239	0,0016	0,16%
46	46000	90	25	47,254	-0,0070	-0,70%
47	47000	86,5192660 6	24,0331294 6	51,048	0,0038	0,38%
48	48000	90	25	50,979	-0,0001	-0,01%
49	49000	90	25	49,83	-0,0011	-0,11%
50	50000	90	25	46,288	-0,0035	-0,35%
51	51000	90	25	26,042	-0,0202	-2,02%
52	52000	90	25	17,008	-0,0090	-0,90%
53	53000	77,5449541 3	21,5402650 4	30,584	0,0136	1,36%
54	54000	64,3036697	17,8621304	58,593	0,0280	2,80%

		2	8			
55	55000	70,8403669 7	19,6778797 1	79,477	0,0209	2,09%
56	56000	90	25	70,994	-0,0085	-0,85%
57	57000	90	25	60,06	-0,0109	-1,09%
58	58000	83,8458715 6	23,2905198 8	66,768	0,0067	0,67%
59	59000	90	25	66,381	-0,0004	-0,04%
60	60000	90	25	62,936	-0,0034	-0,34%
61	61000	90	25	45,26	-0,0177	-1,77%
62	62000	90	25	30,201	-0,0151	-1,51%
63	63000	90	25	15,872	-0,0143	-1,43%
64	64000	90	25	11,824	-0,0040	-0,40%
65	65000	90	25	5,703	-0,0061	-0,61%
66	66000	90	25	5,468	-0,0002	-0,02%
67	67000	89,8779816 5	24,9661060 1	5,601	0,0001	0,01%
68	68000	89,6651376 1	24,9069826 7	5,966	0,0004	0,04%
69	69000	85,0798165 1	23,6332823 6	11,329	0,0054	0,54%
70	70000	90	25	9,732	-0,0016	-0,16%
71	71000	90	25	3,828	-0,0059	-0,59%
72	72000	88,3064220 2	24,5295616 7	5,674	0,0018	0,18%
73	73000	88,1963302 8	24,4989806 3	7,64	0,0020	0,20%
74	74000	86,9211009 2	24,1447502 5	10,996	0,0034	0,34%
75	75000	88,0724770 6	24,4645769 6	13,097	0,0021	0,21%
76	76000	87,3422018 3	24,2617227 3	15,994	0,0029	0,29%
77	77000	90	25	13,428	-0,0026	-0,26%
78	78000	90	25	9,427	-0,0040	-0,40%
79	79000	90	25	6,21	-0,0032	-0,32%
80	80000	90	25	4,584	-0,0016	-0,16%
81	81000	89,6669724 8	24,9074923 5	4,947	0,0004	0,04%
82	82000	90	25	4,729	-0,0002	-0,02%
83	83000	87,5311926 6	24,3142201 8	7,42	0,0027	0,27%
84	84000	85,2513761 5	23,6809378 2	12,596	0,0052	0,52%
85	85000	78,5917431 2	21,8310397 6	25,031	0,0124	1,24%
86	86000	89,4770642 2	24,8547400 6	25,601	0,0006	0,06%
87	87000	84,1293578	23,3692660 6	32	0,0064	0,64%
88	88000	84,0788990 8	23,3552497 5	38,454	0,0065	0,65%
89	89000	85,6311926 6	23,7864424 1	43,216	0,0048	0,48%
90	90000	86,1174311	23,9215086	47,448	0,0042	0,42%

		9	6			
91	91000	88	24,4444444 4	49,628	0,0022	0,22%
92	92000	81,4018348 6	22,6116208	59	0,0094	0,94%
93	93000	82,0119266 1	22,7810907 2	67,707	0,0087	0,87%
94	94000	84,5788990 8	23,4941386 3	73,616	0,0059	0,59%
95	95000	85,9779816 5	23,8827726 8	78	0,0044	0,44%
96	96000	90	25	70,756	-0,0072	-0,72%
97	97000	89,1853211	24,7737003 1	71,644	0,0009	0,09%
98	98000	90	25	71,421	-0,0002	-0,02%
99	99000	86,4293578	24,0081549 4	75,313	0,0039	0,39%
100	100000	90	25	71,977	-0,0033	-0,33%
101	101000	88,2779816 5	24,5216615 7	73,854	0,0019	0,19%
102	102000	90	25	66,365	-0,0075	-0,75%
103	103000	90	25	56,771	-0,0096	-0,96%
104	104000	90	25	47,546	-0,0092	-0,92%
105	105000	90	25	43,5	-0,0040	-0,40%
106	106000	89,5495412 8	24,8748725 8	43,991	0,0005	0,05%
107	107000	90	25	38,305	-0,0057	-0,57%
108	108000	86,4559633	24,0155453 6	42,168	0,0039	0,39%
109	109000	90	25	21,544	-0,0206	-2,06%
110	110000	80,4073394 5	22,3353720 7	32	0,0105	1,05%
111	111000	70,8633027 5	19,6842507 6	52,859	0,0209	2,09%
112	112000	90	25	43,32	-0,0095	-0,95%
113	113000	67,5302752 3	18,7584097 9	67,812	0,0245	2,45%
114	114000	69,1788990 8	19,2163608 6	90,507	0,0227	2,27%
115	115000	90	25	77,456	-0,0131	-1,31%
116	116000	90	25	51,814	-0,0256	-2,56%
117	117000	82,3807339 4	22,8835372 1	60,119	0,0083	0,83%
118	118000	73,6660550 5	20,4627930 7	77,923	0,0178	1,78%
119	119000	90	25	77,769	-0,0002	-0,02%
120	120000	90	25	64,552	-0,0132	-1,32%
121	121000	72,7944954 1	20,2206931 7	83,306	0,0188	1,88%
122	122000	90	25	70,858	-0,0124	-1,24%
123	123000	90	25	44,028	-0,0268	-2,68%
124	124000	90	25	24,913	-0,0191	-1,91%
125	125000	90	25	19,671	-0,0052	-0,52%
126	126000	83,4770642 2	23,1880733 9	26,781	0,0071	0,71%

127	127000	89,9477064 2	24,9854740 1	26,838	0,0001	0,01%
128	128000	90	25	22,992	-0,0038	-0,38%
129	129000	90	25	13,503	-0,0095	-0,95%
130	130000	84,2871559 6	23,4130988 8	19,73	0,0062	0,62%
131	131000	81,9908256 9	22,7752293 6	28,46	0,0087	0,87%
132	132000	90	25	26,477	-0,0020	-0,20%
133	133000	90	25	22,68	-0,0038	-0,38%
134	134000	90	25	10,265	-0,0124	-1,24%
135	135000	72,3091743 1	20,0858817 5	29,548	0,0193	1,93%
136	136000	83,4935779 8	23,1926605 5	36,64	0,0071	0,71%
137	137000	82,2550458 7	22,8486238 5	45,082	0,0084	0,84%
138	138000	79,9834862 4	22,2176350 7	56	0,0109	1,09%
139	139000	90	25	49,56	-0,0064	-0,64%
140	140000	88,3770642 2	24,5491845 1	51,329	0,0018	0,18%
141	141000	85,8871559 6	23,8575433 2	55,812	0,0045	0,45%
142	142000	90	25	50,762	-0,0051	-0,51%
143	143000	85,8733945	23,8537206 9	55,26	0,0045	0,45%
144	144000	74,8449541 3	20,7902650 4	71,779	0,0165	1,65%
145	145000	65,7284403 7	18,2579001	98,235	0,0265	2,65%
146	146000	63,6220183 5	17,6727828 7	126,98 7	0,0288	2,88%
147	147000	61,5798165 1	17,1055045 9	157,96 5	0,0310	3,10%
148	148000	90	25	154,84	-0,0031	-0,31%
149	149000	89,0743119 3	24,7428644 2	155,84 9	0,0010	0,10%
150	150000	90	25	149,50 8	-0,0063	-0,63%
151	151000	88,1504587 2	24,4862385 3	151,52 4	0,0020	0,20%
152	152000	89,4412844	24,8448012 2	152,13 3	0,0006	0,06%
153	153000	89,7678899 1	24,9355249 7	152,38 6	0,0003	0,03%
154	154000	86,8798165 1	24,1332823 6	155,78 7	0,0034	0,34%
155	155000	90	25	155,00 5	-0,0008	-0,08%
156	156000	89,0091743 1	24,7247706 4	156,08 5	0,0011	0,11%
157	157000	90	25	152,65 6	-0,0034	-0,34%

158	158000	90	25	150,52 3	-0,0021	-0,21%
159	159000	87,5330275 2	24,3147298 7	153,21 2	0,0027	0,27%
160	160000	90	25	136,08 4	-0,0171	-1,71%
161	161000	90	25	117,88 3	-0,0182	-1,82%
162	162000	90	25	103,21 6	-0,0147	-1,47%
163	163000	90	25	88,108	-0,0151	-1,51%
164	164000	90	25	72,883	-0,0152	-1,52%
165	165000	90	25	54,539	-0,0183	-1,83%
166	166000	90	25	40,7	-0,0138	-1,38%
167	167000	85,2128440 4	23,6702344 5	45,918	0,0052	0,52%
168	168000	90	25	36,484	-0,0094	-0,94%
169	169000	90	25	32,954	-0,0035	-0,35%
170	170000	79,9697247 7	22,2138124 4	43,887	0,0109	1,09%
171	171000	83,9678899 1	23,3244138 6	50,462	0,0066	0,66%
172	172000	85,0715596 3	23,6309887 9	55,834	0,0054	0,54%
173	173000	90	25	53,998	-0,0018	-0,18%
174	174000	90	25	49,981	-0,0040	-0,40%
175	175000	90	25	49,009	-0,0010	-0,10%
176	176000	85,5284403 7	23,7579001	53,883	0,0049	0,49%
177	177000	80,8651376 1	22,4625382 3	63,84	0,0100	1,00%
178	178000	79,1192660 6	21,9775739	75,7	0,0119	1,19%
179	179000	83,2972477 1	23,1381243 6	83,006	0,0073	0,73%
180	180000	83,8293578	23,2859327 2	89,732	0,0067	0,67%
181	181000	85,3541284 4	23,7094801 2	94,796	0,0051	0,51%
182	182000	84,8330275 2	23,5647298 7	100,42 8	0,0056	0,56%
183	183000	83,2880733 9	23,1355759 4	107,74 4	0,0073	0,73%
184	184000	80,2605504 6	22,2945973 5	118,36	0,0106	1,06%
185	185000	85,7688073 4	23,8246687 1	122,97 2	0,0046	0,46%
186	186000	90	25	122,02 7	-0,0009	-0,09%
187	187000	83,9522935 8	23,3200815 5	128,61 9	0,0066	0,66%
188	188000	85,8587156	23,8496432 2	133,13 3	0,0045	0,45%
189	189000	89,5917431	24,8865953	133,57	0,0004	0,04%

		2	1	8		
190	190000	88,3669724 8	24,5463812 4	135,35 8	0,0018	0,18%
191	191000	85,8018348 6	23,8338430 2	139,93 4	0,0046	0,46%
192	192000	86,7128440 4	24,0869011 2	143,51 7	0,0036	0,36%
193	193000	87,8816513 8	24,4115698 3	145,82 6	0,0023	0,23%
194	194000	90	25	134,49 3	-0,0113	-1,13%
195	195000	90	25	118,92 8	-0,0156	-1,56%
196	196000	87,2513761 5	24,2364933 7	121,92 4	0,0030	0,30%
197	197000	90	25	115,38 3	-0,0065	-0,65%
198	198000	90	25	104,46 8	-0,0109	-1,09%
199	199000	90	25	94	-0,0105	-1,05%
200	200000	84,9128440 4	23,5869011 2	99,545	0,0055	0,55%
201	201000	69,5623853 2	19,3228848 1	121,82 2	0,0223	2,23%
202	202000	90	25	94,368	-0,0275	-2,75%
203	203000	90	25	83,603	-0,0108	-1,08%
204	204000	90	25	75,286	-0,0083	-0,83%
205	205000	90	25	66,108	-0,0092	-0,92%
206	206000	90	25	45,516	-0,0206	-2,06%
207	207000	90	25	20,424	-0,0251	-2,51%
208	208000	90	25	0,464	-0,0200	-2,00%
209	209000	71,7816513 8	19,9393476	20,322	0,0199	1,99%
210	210000	90	25	20,092	-0,0002	-0,02%
211	211000	85,4972477 1	23,7492354 7	25	0,0049	0,49%
212	212000	72,5366972 5	20,1490825 7	44,035	0,0190	1,90%
213	213000	90	25	42,607	-0,0014	-0,14%
214	214000	89,6394495 4	24,8998470 9	43	0,0004	0,04%
215	215000	90	25	42,66	-0,0003	-0,03%
216	216000	83,8568807 3	23,2935779 8	49,356	0,0067	0,67%
217	217000	88,6348623 9	24,6207951 1	50,844	0,0015	0,15%
218	218000	90	25	49,808	-0,0010	-0,10%
219	219000	86,4504587 2	24,0140163 1	53,677	0,0039	0,39%
220	220000	90	25	51,833	-0,0018	-0,18%
221	221000	90	25	32,963	-0,0189	-1,89%
222	222000	90	25	15	-0,0180	-1,80%

223	223000	89,3027522 9	24,8063200 8	15,76	0,0008	0,08%
224	224000	85,6614678 9	23,7948521 9	20,489	0,0047	0,47%
225	225000	86,0119266 1	23,8922018 3	24,836	0,0043	0,43%
226	226000	90	25	23,739	-0,0011	-0,11%
227	227000	88,8293578	24,6748216 1	25,015	0,0013	0,13%
228	228000	77,4385321 1	21,5107033 6	38,707	0,0137	1,37%
229	229000	90	25	31,995	-0,0067	-0,67%
230	230000	90	25	17,856	-0,0141	-1,41%
231	231000	89,5458715 6	24,8738532 1	18,351	0,0005	0,05%
232	232000	89,6651376 1	24,9069826 7	18,716	0,0004	0,04%
233	233000	90	25	17,189	-0,0015	-0,15%
234	234000	85,2091743 1	23,6692150 9	22,411	0,0052	0,52%
235	235000	89,1862385 3	24,7739551 5	23,298	0,0009	0,09%
236	236000	88,4779816 5	24,5772171 3	24,957	0,0017	0,17%
237	237000	90	25	22,713	-0,0022	-0,22%
238	238000	90	25	14,738	-0,0080	-0,80%
239	239000	86,0761467 9	23,9100407 7	19,015	0,0043	0,43%
240	240000	84,9899082 6	23,6083078 5	24,476	0,0055	0,55%
241	241000	82,2706422	22,8529561 7	32,901	0,0084	0,84%
242	242000	90	25	25,909	-0,0070	-0,70%
243	243000	86,9137614 7	24,1427115 2	29,273	0,0034	0,34%
244	244000	74,2788990 8	20,6330275 2	46,409	0,0171	1,71%
245	245000	72,3100917 4	20,0861366	65,691	0,0193	1,93%
246	246000	72,1403669 7	20,0389908 3	85,158	0,0195	1,95%
247	247000	90	25	82,512	-0,0026	-0,26%
248	248000	90	25	66,749	-0,0158	-1,58%
249	249000	90	25	52,76	-0,0140	-1,40%
250	250000	90	25	51,716	-0,0010	-0,10%
251	251000	78,6633027 5	21,8509174 3	64,073	0,0124	1,24%
252	252000	66,9073394 5	18,5853720 7	89,244	0,0252	2,52%
253	253000	86,1275229 4	23,9243119 3	93,465	0,0042	0,42%
254	254000	90	25	91	-0,0025	-0,25%
255	255000	90	25	73,774	-0,0172	-1,72%
256	256000	90	25	45,84	-0,0279	-2,79%
257	257000	90	25	42,922	-0,0029	-0,29%
258	258000	90	25	37,954	-0,0050	-0,50%

259	259000	89,4926605 5	24,8590723 8	38,507	0,0006	0,06%
260	260000	90	25	37,094	-0,0014	-0,14%
261	261000	90	25	33,977	-0,0031	-0,31%
262	262000	88,3477064 2	24,5410295 6	35,778	0,0018	0,18%
263	263000	90	25	34,328	-0,0015	-0,15%
264	264000	88,9871559 6	24,7186544 3	35,432	0,0011	0,11%
265	265000	85,8045871 6	23,8346075 4	40,005	0,0046	0,46%
266	266000	86,3899082 6	23,9971967 4	43,94	0,0039	0,39%
267	267000	90	25	37,181	-0,0068	-0,68%
268	268000	90	25	32,554	-0,0046	-0,46%
269	269000	90	25	31,41	-0,0011	-0,11%
270	270000	84,1743119 3	23,3817533 1	37,76	0,0064	0,64%
271	271000	82,1082568 8	22,8078491 3	46,362	0,0086	0,86%
272	272000	89,3577981 7	24,8216106	47,062	0,0007	0,07%
273	273000	90	25	38,856	-0,0082	-0,82%
274	274000	77,4844036 7	21,5234454 6	52,498	0,0136	1,36%
275	275000	87,8321100 9	24,3978083 6	54,861	0,0024	0,24%
276	276000	86,6036697 2	24,0565749 2	58,563	0,0037	0,37%
277	277000	90	25	50,253	-0,0083	-0,83%
278	278000	89,0798165 1	24,7443934 8	51,256	0,0010	0,10%
279	279000	90	25	46,865	-0,0044	-0,44%
280	280000	81,9568807 3	22,7658002	55,632	0,0088	0,88%
281	281000	85,1605504 6	23,6557084 6	60,907	0,0053	0,53%
282	282000	90	25	48,32	-0,0126	-1,26%
283	283000	90	25	46,844	-0,0015	-0,15%
284	284000	90	25	45,245	-0,0016	-0,16%
285	285000	90	25	30,755	-0,0145	-1,45%
286	286000	61,3532110 1	17,0425586 1	61,98	0,0312	3,12%
287	287000	60	16,6666666 7	94,68	0,0327	3,27%
288	288000	63,1770642 2	17,5491845 1	123,91 7	0,0292	2,92%
289	289000	71,7339449 5	19,9260958 2	143,82 7	0,0199	1,99%
290	290000	90	25	112,52 7	-0,0313	-3,13%
291	291000	90	25	91,57	-0,0210	-2,10%
292	292000	90	25	56,62	-0,0350	-3,50%
293	293000	90	25	22,6	-0,0340	-3,40%

294	294000	90	25	13,648	-0,0090	-0,90%
295	295000	85,5660550 5	23,7683486 2	18,481	0,0048	0,48%
296	296000	85,0623853 2	23,6284403 7	23,863	0,0054	0,54%
297	297000	90	25	20,191	-0,0037	-0,37%
298	298000	72,9596330 3	20,2665647 3	38,765	0,0186	1,86%
299	299000	85,7440367	23,8177879 7	43,404	0,0046	0,46%
300	300000	88,0431192 7	24,4564220 2	45,537	0,0021	0,21%
301	301000	90	25	44,748	-0,0008	-0,08%
302	302000	90	25	43,22	-0,0015	-0,15%
303	303000	83,7935779 8	23,2759938 8	49,985	0,0068	0,68%
304	304000	80,3688073 4	22,3246687 1	60,483	0,0105	1,05%
305	305000	90	25	44	-0,0165	-1,65%
306	306000	90	25	40,896	-0,0031	-0,31%
307	307000	85,3174311 9	23,6992864 4	46	0,0051	0,51%
308	308000	80,8256880 7	22,4515800 2	56	0,0100	1,00%
309	309000	73,1311926 6	20,3142201 8	74,387	0,0184	1,84%
310	310000	84,0651376 1	23,3514271 2	80,856	0,0065	0,65%
311	311000	90	25	76,651	-0,0042	-0,42%
312	312000	84,8963302 8	23,5823139 7	82,214	0,0056	0,56%
313	313000	86,1238532 1	23,9232925 6	86,439	0,0042	0,42%
314	314000	90	25	78,77	-0,0077	-0,77%
315	315000	90	25	73,953	-0,0048	-0,48%
316	316000	86,0899082 6	23,9138634	78,215	0,0043	0,43%
317	317000	73,7366972 5	20,4824159	95,942	0,0177	1,77%
318	318000	82,6	22,9444444 4	104,00 8	0,0081	0,81%
319	319000	76,0339449 5	21,1205402 7	119,23 1	0,0152	1,52%
320	320000	76,5678899 1	21,2688583 1	133,87 2	0,0146	1,46%
321	321000	84,0743119 3	23,3539755 4	140,33 1	0,0065	0,65%
322	322000	78,1779816 5	21,7161060 1	153,21 7	0,0129	1,29%
323	323000	70,7688073 4	19,6580020 4	174,17 9	0,0210	2,10%
324	324000	90	25	164,55 1	-0,0096	-0,96%
325	325000	89,0229357 8	24,7285932 7	165,61 6	0,0011	0,11%

326	326000	90	25	161,72	-0,0039	-0,39%
327	327000	90	25	157,74 3	-0,0040	-0,40%
328	328000	90	25	155,97 3	-0,0018	-0,18%
329	329000	83,7513761 5	23,2642711 5	162,78 4	0,0068	0,68%
330	330000	76,0669724 8	21,1297145 8	177,97 1	0,0152	1,52%
331	331000	86,5642201 8	24,0456167 2	181,71 6	0,0037	0,37%
332	332000	90	25	177,73 6	-0,0040	-0,40%
333	333000	78,9064220 2	21,9184505 6	189,82 8	0,0121	1,21%
334	334000	79,0623853 2	21,9617737	201,75	0,0119	1,19%
335	335000	90	25	198,27 5	-0,0035	-0,35%
336	336000	89,5192660 6	24,8664627 9	198,79 9	0,0005	0,05%
337	337000	81,2541284 4	22,5705912 3	208,33 2	0,0095	0,95%
338	338000	71,6834862 4	19,9120795 1	228,29 7	0,0200	2,00%
339	339000	87,0137614 7	24,1704893	231,55 2	0,0033	0,33%
340	340000	81,8532110 1	22,7370030 6	240,43 2	0,0089	0,89%
341	341000	81,1825688 1	22,5507135 6	250,04 3	0,0096	0,96%
342	342000	90	25	228,66 4	-0,0214	-2,14%
343	343000	90	25	208,76 4	-0,0199	-1,99%
344	344000	90	25	198,33 8	-0,0104	-1,04%
345	345000	90	25	190	-0,0083	-0,83%
346	346000	90	25	176,49 8	-0,0135	-1,35%
347	347000	83,5165137 6	23,1990316	183,56 5	0,0071	0,71%
348	348000	90	25	170,8	-0,0128	-1,28%
349	349000	90	25	166,30 8	-0,0045	-0,45%
350	350000	90	25	143,5	-0,0228	-2,28%
351	351000	90	25	133,76	-0,0097	-0,97%
352	352000	90	25	130,70 5	-0,0031	-0,31%
353	353000	90	25	116,11 6	-0,0146	-1,46%

354	354000	90	25	91,312	-0,0248	-2,48%
355	355000	77,5055045 9	21,5293068 3	104,93 1	0,0136	1,36%
356	356000	70,3504587 2	19,5417940 9	126,34 9	0,0214	2,14%
357	357000	90	25	117,09 6	-0,0093	-0,93%
358	358000	90	25	97,668	-0,0194	-1,94%
359	359000	90	25	77,424	-0,0202	-2,02%
360	360000	90	25	70,083	-0,0073	-0,73%
361	361000	72,5165137 6	20,1434760 4	89,14	0,0191	1,91%
362	362000	80,4513761 5	22,3476044 9	99,548	0,0104	1,04%
363	363000	90	25	85,253	-0,0143	-1,43%
364	364000	84,8091743 1	23,5581039 8	90,911	0,0057	0,57%
365	365000	80,8385321 1	22,4551478 1	100,89 7	0,0100	1,00%
366	366000	85,4339449 5	23,7316513 8	105,87 4	0,0050	0,50%
367	367000	89,8844036 7	24,9678899 1	106	0,0001	0,01%

ANEXO VI: Resumen Configuraciones Ruta: Zaragoza - Madrid

En este ANEXO se muestra el resumen de las variables y de los diferentes valores y resultados de las diferentes configuraciones para la ruta Zaragoza -Madrid. Dónde se muestra la interfaz de la herramienta de cálculo desarrollada.

En ella aparecen los resultados de los cálculos relacionados con los diferentes consumos, incluyendo el consumo por tonelada útil transportada, las emisiones generadas y los costes que se generan, tanto del trayecto como de las emisiones de CO₂.

La interfaz también muestra las variables de entrada necesarias para el cálculo, las cuales varían en función de la configuración del sistema de propulsión a estudiar.

DIÉSEL

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS																				
				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI Diesel [kJ/kg]	Densidad Diesel [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]			
				9,81	40000	8000	7000	25000	43000	832	42	90		0,87	322	322000	6,00%			
CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂						
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada C emitida [€]		
455,0999315	37,62442032	121,1506334	100,797327	2020	1,076	40,48387626	130,3580816	2020	2,482	300,6958722	0,067	8,11709244	0,116	14,05347348	2020	24,75	0,3007	7,4422 €		
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	1,249	46,99290098	151,3171412	2021	2,482	300,6958722	0,059	7,147887372	0,123	14,90152791	2021	53,55	0,3007	16,1023 €		
114,6670657	9,479856138	30,52513676	25,39691379	2022	1,802	67,79920542	218,3134414	2022	2,482	300,6958722	0,055	6,663284839	0,128	15,50728108	2022	80,87	0,3007	24,3173 €		
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	1,562	58,76934454	189,2372894	2023	2,482	300,6958722	0,049	5,936381038	0,134	16,23418488	2023	83,5	0,3007	25,1081 €		
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100km]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	1,515	57,00099678	183,5432096													
25	1,504976813	4,846025337	4,03189308																	

BIODIÉSEL

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI Biodiésel [kJ/kg]	Densidad Biodiésel [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	41380,00	840	40	90		0,87	322	322000	6,00%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO2 [€/tCO ₂]	Toneladas CO2 emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
455,0999315	40,6612875	130,9293457	109,9806504	2020	1,26	51,23322225	164,9709756	2020	2,407	315,1469352	0,067	8,772266165	0,116	15,1878041	2020	24,75	0,3151	7,7999 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	1,11	45,13402912	145,3315738	2021	2,407	315,1469352	0,059	7,724831399	0,123	16,1043095	2021	53,55	0,3151	16,8761 €
114,6670657	10,24502577	32,98898299	27,71074571	2022	1,4	56,9258025	183,301084	2022	2,407	315,1469352	0,055	7,201114016	0,128	16,7589563	2022	80,87	0,3151	25,4859 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	1,68	68,310963	219,9613008	2023	2,407	315,1469352	0,049	6,415537941	0,134	17,5445323	2023	83,5	0,3151	26,3148 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100km]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	1,6	65,05806	209,4869532											
25	1,6264515	5,23717383	4,399226017															

ACEITE VEGETAL HIDROTRATADO

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Acceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI HVO [kJ/kg]	Densidad HVO [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	44000,00	778,7	42	90		0,87	322	322000	6,00%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
455,0999315	39,28608466	126,5011926	98,50647867	2020	1,426	56,02195672	180,3907006	2020	0,139	17,58366577	0,067	8,475579904	0,116	14,6741383	2020	24,75	0,0176	0,4352 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	1,599	62,81844936	202,275407	2021	0,139	17,58366577	0,059	7,463570363	0,123	15,5596467	2021	53,55	0,0176	0,9416 €
114,6670657	9,898529402	31,87326467	24,8197112	2022	2,152	84,54365418	272,2305665	2022	0,139	17,58366577	0,055	6,957565592	0,128	16,1921527	2022	80,87	0,0176	1,4220 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	1,912	75,11499386	241,8702802	2023	0,138	17,45716458	0,049	6,198558437	0,134	16,9511598	2023	83,5	0,0175	1,4577 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100km]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	1,865	73,26854788	235,9247242											
25	1,571443386	5,060047704	3,940259147															

GLP

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI GLP [kJ/kg]	Densidad GLP [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	47300,00	560	30	90		0,87	322	322000	6,00%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO2				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO2/l	kgCO2	gCH4/l	gCH4	gN2O/l	gN2O	Año	Coste unitario tonelada CO2 [€/tCO2]	Toneladas CO2 emitidas [t]	Coste tonelada CO2 emitida [€]
455,0999315	71,14435842	229,0848341	128,2875071	2020	0,72	51,22393806	164,9410806	2020	1,652	378,448146	0,202	46,27513649	0,014	3,20718768	2020	24,75	0,3784	9,3666 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	0,665	47,31099835	152,3414147	2021	1,652	378,448146	0,202	46,27513649	0,014	3,20718768	2021	53,55	0,3784	20,2659 €
114,6670657	17,92554615	57,72025861	32,32334482	2022	0,843	59,97469415	193,1185152	2022	1,652	378,448146	0,203	46,50422133	0,014	3,20718768	2022	80,87	0,3784	30,6051 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	1,019	72,49610123	233,437446	2023	1,652	378,448146	0,2	45,81696682	0,014	3,20718768	2023	83,5	0,3784	31,6004 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	0,929	66,09310897	212,8198109											
25	2,845774337	9,163393365	5,131500284															

GNL

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI GNL [kJ/kg]	Densidad GNL [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	44200,00	431	40	90		0,87	322	322000	6,00%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
455,0999315	74,1910229	238,8950937	102,9637854	2020	1,076	79,82954064	257,0511209	2020	2,725	280,5763152		0		0	2020	24,75	0,2806	6,9443 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	1,249	92,6645876	298,3799721	2021	2,726	280,679279		0		0	2021	53,55	0,2807	15,0304 €
114,6670657	18,69318432	60,1920535	25,94277506	2022	1,802	133,6922233	430,4889589	2022	2,716	279,6496411		0		0	2022	80,87	0,2796	22,6153 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	1,562	115,8863778	373,1541364	2023	2,716	279,6496411		0		0	2023	83,5	0,2796	23,3507 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	1,515	112,3993997	361,926067											
25	2,967640916	9,555803749	4,118551416															

GNC

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI GNC [kJ/kg]	Densidad GNC [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	44200,00	158,49	40	90		0,87	322	322000	6,00%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂						
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]		
455,0999315	201,7561415	649,6547757	102,9637854	2020	0,126792	25,5810647	82,37102832	2020	2,725	280,5763152		0		0	2020	24,75	0,2806	6,9443 €		
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	0,174339	35,17396396	113,2601639	2021	2,726	280,679279		0		0	2021	53,55	0,2807	15,0304 €		
114,6670657	50,83451599	163,6871415	25,94277506	2022	0,348676	70,34792791	226,5203279	2022	2,716	279,6496411		0		0	2022	80,87	0,2796	22,6153 €		
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	0,17624088	35,55767993	114,4957294	2023	2,716	279,6496411		0		0	2023	83,5	0,2796	23,3507 €		
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	0,19842948	40,03436625	128,9106593													
25	8,070245661	25,96619103	4,118551416																	

HIDRÓGENO - GAS

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI Hidrógeno [kJ/kg]	Densidad Hidrógeno [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	120000	0,0899	38	90		0,87	322	322000	6,00%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
455,0999315	137907,0141	444060,5853	39,92104662	2020	0,000982158	135,4464082	436,1374343	2020	0	0	0	0	0	0	2020	24,75	0,0000	0,0000 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	0,000939455	129,5574339	417,1749372	2021	0	0	0	0	0	0	2021	53,55	0,0000	0,0000 €
114,6670657	34747,07763	111885,59	10,05851454	2022	0,000811348	111,8905111	360,2874457	2022	0	0	0	0	0	0	2022	80,87	0,0000	0,0000 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	0,00068324	94,22358829	303,3999543	2023	0	0	0	0	0	0	2023	83,5	0,0000	0,0000 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	0,00051243	70,66769122	227,5499657											
25	5516,280563	17762,42341	1,596841865															

HIDRÓGENO - LÍQUIDO

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remoique [kg]	Carga [kg]	PCI Hidrógeno [kJ/kg]	Densidad Hidrógeno [kg/m ³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativ o [%]	Coefficiente aerodinámic o	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	120000	70,8	38	90		0,87	322	322000	6,00%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
455,0999315	175,1107424	563,8565907	39,92104662	2020	0,77349	135,4464082	436,1374343	2020	0	0	0	0	0	0	2020	24,75	0,0000	0,0000 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	0,73986	129,5574339	417,1749372	2021	0	0	0	0	0	0	2021	53,55	0,0000	0,0000 €
114,6670657	44,12093615	142,0694144	10,05851454	2022	0,63897	111,8905111	360,2874457	2022	0	0	0	0	0	0	2022	80,87	0,0000	0,0000 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	0,53808	94,22358829	303,3999543	2023	0	0	0	0	0	0	2023	83,5	0,0000	0,0000 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	0,40356	70,66769122	227,5499657											
25	7,004429698	22,55426363	1,596841865															

ELÉCTRICO - BATERÍAS

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Peso Baterías [Kg]	Carga [kg]	Rendimiento batería [%]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	7200	17800	90,00%	95,00%	95,00%	12,00%	0,87	322	322000	6,00%
CONSUMO				COSTES													
Eefectiva consumida [kWh]	Econsumida en freno [kWh]	Erecuperada Freno regenerativo [kWh]	Etotal consumida [kWh]	Año	Precio medio [€/kWh]	Coste trayecto [€]	Coste trayecto [€/100km]										
570,7524772	111,8929897	13,4272	557,3253	2020	0,04037	22,49922311	6,987336369										
				2021	0,1187	66,1545153	20,54488053										
				2022	0,2403	133,925274	41,59170001										
				2023	0,0993	55,34240412	17,18708203										
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2024	0,096125	53,57289624	16,63754542										
Carga transportada [t]	Etotal consumida [kWh/100km]	Consumo tonelada transportada [kWh/100kmt]	Consumo tonelada transportada [kWh/t]														
17,8	173,082397	9,723730171	31,31041115														

ELÉCTRICO – PILA DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Peso baterías [kg]	Carga [kg]	PCI Hidrógeno [kJ/kg]	Densidad Hidrógeno [kg/m³]	Rendimiento pila [%]	Rendimient o batería [%]	Rendimient o motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámic o	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	2500	22500	120000	0,0899	75	81	95	95	12,00%	0,87	322	322000	6,00%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
444,4033243	84001,97507	270486,3597	24,31672374	2020	0,000982158	82,50316983	265,6602069	2020	0	0	0	0	0	0	2020	24,75	0,0000	0,0000 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	0,000939455	78,91607549	254,1097631	2021	0	0	0	0	0	0	2021	53,55	0,0000	0,0000 €
113,7022871	13056,5273	42042,01792	3,779577411	2022	0,000811348	68,15479247	219,4584317	2022	0	0	0	0	0	0	2022	80,87	0,0000	0,0000 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	0,00068324	57,39350945	184,8071004	2023	0	0	0	0	0	0	2023	83,5	0,0000	0,0000 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	0,00051243	43,04513208	138,6053253											
22,5	3733,421114	12021,61599	1,080743277															

RESULTADOS

A continuación, se muestra un resumen de los cálculos de las configuraciones de la ruta Zaragoza - Madrid

								COSTES		EMISIONES			COSTES DE EMISIÓN		COSTE FINAL
Combustible	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Econsumida [kg/100km]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	kgCO ₂ /l	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]	Coste total trayecto [€]
DIESEL	37,6244203	121,1506334	100,797327	31,30351771	1,504976813	4,846025337	4,03189308	57,0009968	183,54321	2,482		300,695872	0,30069587	25,10810533	208,651315
BIO	40,6612875	130,9293457	109,9806504	34,1554815	1,6264515	5,23717383	4,399226017	65,05806	209,486953	2,407		315,146935	0,31514694	26,31476909	235,801722
HVO	39,2860847	126,5011926	98,50647867	30,59207412	1,571443386	5,060047704	3,940259147	73,2685479	235,924724	0,138		17,4571646	0,01745716	1,457673242	237,382397
GLP	71,1443584	229,0848341	128,2875071	39,84084072	2,845774337	9,163393365	5,131500284	66,093109	212,819811	1,652		378,448146	0,37844815	31,60042019	244,420231
GNL	74,1910229	238,8950937	102,9637854	31,97633087	2,967640916	9,555803749	4,118551416	112,3994	361,926067		2,716	279,649641	0,27964964	23,35074504	385,276812
GNC	201,756142	649,6547757	102,9637854	31,97633087	8,070245661	25,98619103	4,118551416	40,0343662	128,910659		2,716	279,649641	0,27964964	23,35074504	152,261404
HIDRÓGENO gas	137907,014	444060,5853	39,92104662	12,39784056	5516,280563	17762,42341	1,596841865	70,6676912	227,549966						227,549966
HIDRÓGENO liquido	175,110742	563,8565907	39,92104662	12,39784056	7,004429698	22,55426363	1,596841865	70,6676912	227,549966						227,549966
HIDRÓGENO Pila	84001,9751	270486,3597	24,31672374	7,551777559	3733,421114	12021,61599	1,080743277	43,0451321	138,605325						138,605325
ELÉCTRICO								16,6375454	53,5728962						53,5728962

ANEXO VII: Resumen Configuraciones Ruta: Valencia - Barcelona

Al igual que en el ANEXO V, en este ANEXO se muestra el resumen de las variables y de los diferentes valores y resultados de las diferentes configuraciones para la ruta Valencia - Barcelona. Dónde se muestra la interfaz de la herramienta de cálculo desarrollada.

En ella aparecen los resultados de los cálculos relacionados con los diferentes consumos, incluyendo el consumo por tonelada útil transportada, las emisiones generadas y los costes que se generan, tanto del trayecto como de las emisiones de CO₂.

La interfaz también muestra las variables de entrada necesarias para el cálculo, las cuales varían en función de la configuración del sistema de propulsión a estudiar.

DIÉSEL

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI Diesel [kJ/kg]	Densidad Diesel [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	43000	832	42	90		0,87	367	367000	3,27%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES							COSTE POR TONELADA CO ₂			
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
404,2017144	29,31912506	107,601189	89,52418923	2020	1,076	31,54737857	115,7788793	2020	2,482	267,066151	0,067	7,209279661	0,116	12,4817	2020	24,75	0,2671	6,6099 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	1,249	36,6195872	134,393885	2021	2,482	267,066151	0,059	6,34847015	0,123	13,2349	2021	53,55	0,2671	14,3014 €
51,42150516	3,729903875	13,68874722	11,38903769	2022	1,802	52,83306336	193,8973425	2022	2,482	267,066151	0,055	5,918065394	0,128	13,773	2022	80,87	0,2671	21,5976 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	1,562	45,79647335	168,0730572	2023	2,482	267,066151	0,049	5,27245826	0,134	14,4186	2023	83,5	0,2671	22,3000 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	1,515	44,41847447	163,0158013											
25	1,172765002	4,304047559	3,580967569															

BIODIÉSEL

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Acceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI Biodiésel [kJ/kg]	Densidad Biodiésel [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]		
				9,81	40000	8000	7000	25000	41380,00	840	40	90		0,87	367	367000	3,27%		

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
404,2017144	31,68562766	116,2862535	97,68045296	2020	1,26	39,92389086	146,5206794	2020	2,407	279,9010122	0,067	7,791178986	0,116	13,489205	2020	24,75	0,2799	6,9276 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	1,11	35,17104671	129,0777414	2021	2,407	279,9010122	0,059	6,860888958	0,123	14,303209	2021	53,55	0,2799	14,9887 €
51,42150516	4,030964265	14,79363885	12,42665664	2022	1,4	44,35987873	162,8007549	2022	2,407	279,9010122	0,055	6,395743944	0,128	14,88464	2022	80,87	0,2799	22,6356 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	1,68	53,23185448	195,3609059	2023	2,407	279,9010122	0,049	5,698026423	0,134	15,582358	2023	83,5	0,2799	23,3717 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100km]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	1,6	50,69700426	186,0580056											
25	1,267425107	4,651450141	3,907218119															

ACEITE VEGETAL HIDROTRATADO

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI HVO [kJ/kg]	Densidad HVO [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]			
				9,81	40000	8000	7000	25000	44000,00	778,7	42	90		0,87	367	367000	3,27%			

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂					
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]	
404,2017144	30,61399005	112,3533435	87,48954856	2020	1,426	43,65554981	160,2158678	2020	0,139	15,61711474	0,067	7,527674013	0,116	13,033	2020	24,75	0,0156	0,3865 €	
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	1,599	48,95177009	179,6529962	2021	0,139	15,61711474	0,059	6,628847265	0,123	13,8195	2021	53,55	0,0156	0,8363 €	
51,42150516	3,894633277	14,29330413	11,13019592	2022	2,152	65,88130658	241,7843952	2022	0,139	15,61711474	0,055	6,179433891	0,128	14,3812	2022	80,87	0,0156	1,2630 €	
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	1,912	58,53394897	214,8195927	2023	0,138	15,5047614	0,049	5,50531383	0,134	15,0553	2023	83,5	0,0155	1,2946 €	
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100km]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	1,865	57,09509144	209,5389856												
25	1,224559602	4,494133739	3,499581943																

GLP

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remoique [kg]	Carga [kg]	PCI GLP [kJ/kg]	Densidad GLP [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	47300,00	560	30	90		0,87	367	367000	3,27%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
404,2017144	55,43980012	203,4640664	113,9398772	2020	0,72	39,91665608	146,4941278	2020	1,652	336,1226377	0,202	41,09974142	0,014	2,8484969	2020	24,75	0,3361	8,3190 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	0,665	36,86746708	135,3036042	2021	1,652	336,1226377	0,202	41,09974142	0,014	2,8484969	2021	53,55	0,3361	17,9994 €
51,42150516	7,052909146	25,88417656	14,49513888	2022	0,843	46,7357515	171,520208	2022	1,652	336,1226377	0,203	41,30320548	0,014	2,8484969	2022	80,87	0,3361	27,1822 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	1,019	56,49315632	207,3298837	2023	1,652	336,1226377	0,2	40,69281328	0,014	2,8484969	2023	83,5	0,3361	28,0662 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100km]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	0,929	51,50357431	189,0181177											
25	2,217592005	8,138562657	4,557595088															

GNL

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI GNL [kJ/kg]	Densidad GNL [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	44200,00	431	40	90		0,87	367	367000	3,27%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
404,2017144	57,81393734	212,17715	91,44835167	2020	1,076	62,20779658	228,3026134	2020	2,725	249,1967583		0		0	2020	24,75	0,2492	6,1676 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	1,249	72,20960774	265,0092604	2021	2,726	249,2882066		0		0	2021	53,55	0,2493	13,3494 €
51,42150516	7,354940793	26,99263271	11,6338247	2022	1,802	104,1807151	382,3432244	2022	2,716	248,3737231		0		0	2022	80,87	0,2484	20,0860 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	1,562	90,30537012	331,4207084	2023	2,716	248,3737231		0		0	2023	83,5	0,2484	20,7392 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100km]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	1,515	87,58811507	321,4483823											
25	2,312557494	8,487086001	3,657934067															

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remoique [kg]	Carga [kg]	PCI GNC [KJ/kg]	Densidad GNC [kg/m³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	44200,00	158.49	40	90		0,87	367	367000	3,27%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO2				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO2/kg	kgCO2	gCH4/l	gCH4	gN2O/l	gN2O	Año	Coste unitario tonelada CO2 [€/tCO2]	Toneladas CO2 emitidas [t]	Coste tonelada CO2 emitida [€]
404,2017144	157,220058	576,9976129	91,44835167	2020	0,126792	19,93424559	73,15868133	2020	2,725	249,1967583		0		0	2020	24,75	0,2492	6,1676 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	0,174339	27,40958769	100,5931868	2021	2,726	249,2882066		0		0	2021	53,55	0,2493	13,3494 €
51,42150516	20,00113245	73,40415608	11,6338247	2022	0,348678	54,81917539	201,1863737	2022	2,716	248,3737231		0		0	2022	80,87	0,2484	20,0860 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	0,17624088	27,70860138	101,6905671	2023	2,716	248,3737231		0		0	2023	83,5	0,2484	20,7392 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100km]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	0,19842948	31,19709436	114,4933363											
25	6,28880232	23,07990452	3,657934067															

HIDRÓGENO - GAS

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI Diesel [kJ/kg]	Densidad Hidrógeno [kg/m ³]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	120000	0,0899	38	90		0,87	367	367000	3,27%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
404,2017144	107465,1239	394397,0048	35,45629073	2020	0,000982158	105,5476775	387,3599763	2020	2,482	978893,366	0,067	26424,59932	0,116	45750,053	2020	24,75	978,8934	24.227,6108 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	0,000939455	100,958648	370,5182382	2021	2,482	978893,366	0,059	23269,42328	0,123	48510,832	2021	53,55	978,8934	52.419,7397 €
51,42150516	13671,43738	50174,17517	4,510658348	2022	0,000811348	87,19155964	319,9930239	2022	2,482	978893,366	0,055	21691,83527	0,128	50482,817	2022	80,87	978,8934	79.163,1065 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	0,00068324	73,42447127	269,4678096	2023	2,482	978893,366	0,049	19325,45324	0,134	52649,199	2023	83,5	978,8934	81.737,5961 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100km]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	0,00051243	55,06835346	202,1008572											
25	4298,604957	15775,88019	1,418251629															

HIDRÓGENO - LÍQUIDO

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Carga [kg]	PCI Diesel [kJ/kg]	Densidad Hidrógeno [kg/m ₃]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	25000	120000	70,8	38	90		0,87	367	367000	3,27%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
404,2017144	136,4564215	500,7950669	35,45629073	2020	0,77349	105,5476775	387,3599763	2020	2,482	1242,973356	0,067	33,55326948	0,116	58,09223	2020	24,75	1,2430	30,7636 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	0,73986	100,958648	370,5182382	2021	2,482	1242,973356	0,059	29,54690894	0,123	61,59779	2021	53,55	1,2430	66,5612 €
51,42150516	17,35963588	63,70986367	4,510658348	2022	0,63897	87,19155964	319,9930239	2022	2,482	1242,973356	0,055	27,54372868	0,128	64,10177	2022	80,87	1,2430	100,5193 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	0,53808	73,42447127	269,4678096	2023	2,482	1242,973356	0,049	24,53895828	0,134	67,10654	2023	83,5	1,2430	103,7883 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	0,40356	55,06835346	202,1008572											
25	5,458256859	20,03180267	1,418251629															

ELÉCTRICO - BATERÍAS

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Peso Baterías [kg]	Carga [kg]	Rendimiento batería [%]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	7200	17800	90,00%	95,00%	95,00%	12,00%	0,87	367	367000	3,27%

CONSUMO			
Efectiva consumida [kWh]	Econsumida en freno [kWh]	Erecuperada Freno regenerativo [kWh]	Etotal consumida [kWh]
510,444468	40,26258002	4,8315	505,6130

COSTES			
Año	Precio medio [€/kWh]	Coste trayecto [€]	Coste trayecto [€/100km]
2020	0,04037	20,41159513	5,561742542
2021	0,1187	60,01625816	16,35320386
2022	0,2403	121,4987939	33,10593839
2023	0,0993	50,20736677	13,68048141
2024	0,096125	48,60204563	13,2430642

CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA			
Carga transportada [Tn]	Etotal consumida [kWh/100km]	Consumo tonelada transportada [kWh/100kmTn]	Consumo tonelada transportada [kWh/Tn]
17,8	137,7691985	7,739842611	28,40522238

ELÉCTRICO – PILA DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO

CÁLCULO CONSUMO DE TRANSPORTE DE VEHÍCULOS PESADOS				Aceleración ravedad [m/s]	Masa Máxima Autorizada [kg]	Masa cabeza tractora [kg]	Masa remolque [kg]	Peso baterías [kg]	Carga [kg]	PCI Hidrógen o [kJ/kg]	Densidad Hidrógeno [kg/m³]	Rendimiento pila [%]	Rendimiento batería [%]	Rendimiento motor [%]	Rendimiento transmisión [%]	Freno Regenerativo [%]	Coefficiente aerodinámico	Total [km]	Total [m]	Pendiente max [%]
				9,81	40000	8000	7000	2500	22500	120000	0,0899	75	81	95	95	12,00%	0,87	367	367000	3,27%

CONSUMO				COSTES				EMISIONES						COSTE POR TONELADA CO ₂				
Econsumida [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Año	Precio medio [€/l]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	Año	kgCO ₂ /l	kgCO ₂	gCH ₄ /l	gCH ₄	gN ₂ O/l	gN ₂ O	Año	Coste unitario tonelada CO ₂ [€/tCO ₂]	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]
401,7408763	66626,65782	244519,8342	21,98233309	2020	0,000982158	65,43787168	240,1569891	2020	2,482	606898,228	0,067	16382,82889	0,116	28364,30077	2020	24,75	606,8982	15.020,7312 €
Econsumida en freno [kWh]	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	2021	0,000939455	62,59274682	229,7153808	2021	2,482	606898,228	0,059	14426,67022	0,123	30075,93961	2021	53,55	606,8982	32.499,4001 €
50,58888798	5096,86841	18705,50706	1,681625085	2022	0,000611348	54,05737226	198,3905562	2022	2,482	606898,228	0,055	13448,59088	0,128	31298,53878	2022	80,87	606,8982	49.079,8597 €
CONSUMO POR TONELADA TRANSPORTADA				2023	0,00068324	45,52199769	167,0657315	2023	2,482	606898,228	0,049	11981,47188	0,134	32765,65778	2023	83,5	606,8982	50.676,0021 €
Carga transportada [t]	Consumo tonelada transportada [l/100km]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	2024	0,00051243	34,14149827	125,2992986											
22,5	2961,184792	10867,54819	0,976992582															

RESULTADOS

A continuación, se muestra un resumen de los cálculos de las configuraciones de la ruta Valencia - Barcelona

								COSTES		EMISIONES			COSTES DE EMISIÓN		COSTE FINAL
Combustible	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Econsumida [kg/100km]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	kgCO ₂ /l	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]	Coste total trayecto [€]
DIESEL	29,31912506	107,601189	89,52418923	24,39351205	1,172765002	4,304047559	3,580967569	44,4184745	163,015801	2,482		267,066151	0,26706615	22,30002361	185,315825
BIO	31,68562766	116,2862535	97,68045296	26,61592724	1,267425107	4,651450141	3,907218119	50,6970043	186,058006	2,407		279,901012	0,27990101	23,37173452	209,42974
HVO	30,61399005	112,3533435	87,48954856	23,83911405	1,224559602	4,494133739	3,499581943	57,0950914	209,538986	0,138		15,5047614	0,01550476	1,294647577	210,833633
GLP	55,43980012	203,4640664	113,9398772	31,04628806	2,217592005	8,138562657	4,557595088	51,5035743	189,018118	1,652		336,122638	0,33612264	28,06624025	217,084358
GNL	57,81393734	212,17715	91,44835167	24,91780699	2,312557494	8,487086001	3,657934067	87,5881151	321,448382		2,716	248,373723	0,24837372	20,73920588	342,187588
GNC	157,220058	576,9976129	91,44835167	24,91780699	6,28880232	23,07990452	3,657934067	31,1970944	114,493336		2,716	248,373723	0,24837372	20,73920588	135,232542
HIDRÓGENO gas	107465,1239	394397,0048	35,45629073	9,661114641	4298,604957	15775,88019	1,418251629	55,0683535	202,100857						202,100857
HIDRÓGENO liquido	136,4564215	500,7950669	35,45629073	9,661114641	5,458256859	20,03180267	1,418251629	55,0683535	202,100857						202,100857
HIDRÓGENO Pila	66626,65782	244519,8342	21,98233309	5,989736538	2961,184792	10867,54819	0,976992582	34,1414983	125,299299						125,299299
ELÉCTRICO								13,2430642	48,6020456						48,6020456

ANEXO VIII: Resumen Resultados de los Escenarios

En este ANEXO se muestran los diferentes resultados para cada uno de los escenarios definidos y desarrollados.

ESCENARIO 1

								COSTES		EMISIONES			COSTES DE EMISIÓN		COSTE FINAL
Combustible	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Econsumida [kg/100km]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/Tt]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	kgCO ₂ /l	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]	Coste total trayecto [€]
DIESEL	26,3878676	84,96893358	70,69415274	21,95470582	2,111029406	6,797514687	5,655532219	39,9776194	128,727934	2,482		210,892893	0,21089289	17,60955658	146,337491
BIO	28,5177728	91,82722837	77,13487183	23,95492914	2,281421823	7,346178269	6,170789746	45,6284365	146,923565	2,407		221,028139	0,22102814	18,45584958	165,379415
HVO	27,553275	88,72154546	69,08746745	21,45573523	2,204261999	7,097723637	5,526997396	51,3868579	165,465682	0,138		12,2435733	0,01224357	1,022338368	166,488021
GLP	49,8970587	160,668529	89,97437622	27,94235286	3,991764695	12,85348232	7,197950097	46,3543675	149,261063	1,652		265,42441	0,26542441	22,16293822	171,424002
GNL	52,0338352	167,5489494	72,2135972	22,42658298	4,162706818	13,40391595	5,777087776	78,8312604	253,836658		2,716	196,13213	0,19613213	16,37703285	270,213691
GNC	141,501565	455,6350382	72,2135972	22,42658298	11,32012517	36,45080305	5,777087776	28,0780819	90,4114237		2,716	196,13213	0,19613213	16,37703285	106,788457
HIDRÓGENO gas	96721,0124	311441,66	27,99860523	8,695219016	7737,680993	24915,3328	2,239888418	49,5627484	159,59205						159,59205
HIDRÓGENO líquido	122,813828	395,4605258	27,99860523	8,695219016	9,825106232	31,63684207	2,239888418	49,5627484	159,59205						159,59205
HIDRÓGENO Pila	61655,1408	198529,5533	17,84780684	5,542797156	5480,456958	17647,0714	1,586471719	31,5939438	101,732499						101,732499
ELÉCTRICO								13,1783321	42,4342293						42,4342293

ESCENARIO 2

								COSTES		EMISIONES			COSTES DE EMISIÓN		COSTE FINAL
Combustible	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Econsumida [kg/100km]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	kgCO ₂ /l	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]	Coste total trayecto [€]
DIESEL	20,7709791	66,88255275	55,64628389	17,28145462	3,323356658	10,70120844	8,903405422	31,4680334	101,327067	2,482		166,002496	0,1660025	13,86120841	115,188276
BIO	22,4475154	72,28099949	60,71603957	18,85591291	3,591602459	11,56495992	9,714566332	35,9160246	115,649599	2,407		173,980366	0,17398037	14,52736054	130,17696
HVO	21,6883194	69,83638836	54,38159562	16,88869429	3,470131099	11,17382214	8,701055299	40,4487156	130,244864	0,138		9,63742159	0,00963742	0,804724703	131,049589
GLP	39,2760332	126,468827	70,82254313	21,99457861	6,284165318	20,23501232	11,3316069	36,4874349	117,48954	1,652		208,926502	0,2089265	17,44536294	134,934903
GNL	40,9579782	131,8846898	56,8423013	17,6528886	6,553276512	21,10155037	9,094768208	62,051337	199,805305		2,716	154,38369	0,15438369	12,89103814	212,696343
GNC	111,381719	358,6491343	56,8423013	17,6528886	17,821075	57,38386149	9,094768208	22,1014165	71,1665612		2,716	154,38369	0,15438369	12,89103814	84,0575994
HIDRÓGENO gas	76133,0988	245148,5781	22,03885717	6,844365581	12181,29581	39223,7725	3,526217147	39,0128838	125,621486						125,621486
HIDRÓGENO liquido	96,6718302	311,2832934	22,03885717	6,844365581	15,46749284	49,80532694	3,526217147	39,0128838	125,621486						125,621486
HIDRÓGENO Pila	50485,0818	162561,9633	14,6143205	4,538608852	8975,12565	28899,90459	2,598101423	25,8700705	83,3016269						83,3016269
ELÉCTRICO								11,4500094	36,8690304						36,8690304

ESCENARIO 3

								COSTES		EMISIONES			COSTES DE EMISIÓN		COSTE FINAL
Combustible	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Econsumida [kg/100km]	Consumo tonelada transportada [l/100km]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	kgCO ₂ /l	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]	Coste total trayecto [€]
DIESEL	37,6244203	121,1506334	100,797327	31,30351771	1,504976813	4,846025337	4,03189308	94,0610508	302,876584	2,482		300,695872	0,30069587	28,56610786	331,442691
BIO	32,52903	104,7434766	87,98452034	27,3243852	1,3011612	4,189739064	3,519380814	52,046448	167,589563	2,407		252,117548	0,25211755	21,05181527	188,641378
HVO	33,0003111	106,2610018	82,74544208	25,69734226	1,320012444	4,250440071	3,309817683	61,5455802	198,176768	0,138		14,6640182	0,01466402	1,224445523	199,401214
GLP	71,1443584	229,0848341	128,2875071	39,84084072	2,845774337	9,163393365	5,131500284	66,093109	212,819811	1,652		378,448146	0,37844815	31,60042019	244,420231
GNL	74,1910229	238,8950937	102,9637854	31,97633087	2,967640916	9,555803749	4,118551416	112,3994	361,926067		2,716	279,649641	0,27964964	23,35074504	385,276812
GNC	201,756142	649,6547757	102,9637854	31,97633087	8,070245661	25,98619103	4,118551416	40,0343662	128,910659		2,716	279,649641	0,27964964	23,35074504	152,261404
HIDRÓGENO gas	137907,014	444060,5853	39,92104662	12,39784056	5516,280563	17762,42341	1,596841865	70,6676912	227,549966						227,549966
HIDRÓGENO líquido	175,110742	563,8565907	39,92104662	12,39784056	7,004429698	22,55426363	1,596841865	70,6676912	227,549966						227,549966
HIDRÓGENO Pila	84001,9751	270486,3597	24,31672374	7,551777559	3733,421114	12021,61599	1,080743277	43,0451321	138,605325						138,605325
ELÉCTRICO								16,6375454	53,5728962						53,5728962

ESCENARIO 4

								COSTES		EMISIONES			COSTES DE EMISIÓN		COSTE FINAL
Combustible	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Econsumida [kg/100km]	Consumo tonelada transportada [l/100km]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	kgCO ₂ /l	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]	Coste total trayecto [€]
DIESEL	37,6244203	121,1506334	100,797327	31,30351771	1,504976813	4,846025337	4,03189308	57,0009968	183,54321	2,482		300,695872	0,30069587	25,10810533	208,651315
BIO	40,6612875	130,9293457	109,9806504	34,1554815	1,6264515	5,23717383	4,399226017	65,05806	209,486953	2,407		315,146935	0,31514694	26,31476909	235,801722
HVO	39,2860847	126,5011926	98,50647867	30,59207412	1,571443386	5,060047704	3,940259147	73,2685479	235,924724	0,138		17,4571646	0,01745716	1,457673242	237,382397
GLP	53,3582688	171,8136256	96,21563033	29,88063054	2,134330753	6,872545024	3,848625213	49,5698317	159,614858	1,652		283,836109	0,28383611	23,70031514	183,315173
GNL	74,1910229	238,8950937	102,9637854	31,97633087	2,967640916	9,555803749	4,118551416	112,3994	361,926067		2,716	279,649641	0,27964964	23,35074504	385,276812
GNC	201,756142	649,6547757	102,9637854	31,97633087	8,070245661	25,98619103	4,118551416	40,0343662	128,910659		2,716	279,649641	0,27964964	23,35074504	152,261404
HIDRÓGENO gas	137907,014	444060,5853	39,92104662	12,39784056	5516,280563	17762,42341	1,596841865	70,6676912	227,549966						227,549966
HIDRÓGENO liquido	175,110742	563,8565907	39,92104662	12,39784056	7,004429698	22,55426363	1,596841865	70,6676912	227,549966						227,549966
HIDRÓGENO Pila	84001,9751	270486,3597	24,31672374	7,551777559	3733,421114	12021,61599	1,080743277	43,0451321	138,605325						138,605325
ELÉCTRICO								16,6375454	53,5728962						53,5728962

ESCENARIO 5

								COSTES	EMISIONES				COSTES DE EMISIÓN		COSTE FINAL
Combustible	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Econsumida [kg/100km]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	kgCO ₂ /l	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]	Coste total trayecto [€]
DIESEL	37,6244203	121,1506334	100,797327	31,30351771	1,504976813	4,846025337	4,03189308	57,0009968	183,54321	2,482		300,695872	0,30069587	25,10810533	208,651315
BIO	40,6612875	130,9293457	109,9806504	34,1554815	1,6264515	5,23717383	4,399226017	65,05806	209,486953	2,407		315,146935	0,31514694	26,31476909	235,801722
HVO	39,2860847	126,5011926	98,50647867	30,59207412	1,571443386	5,060047704	3,940259147	73,2685479	235,924724	0,138		17,4571646	0,01745716	1,457673242	237,382397
GLP	71,1443584	229,0848341	128,2875071	39,84084072	2,845774337	9,163393365	5,131500284	66,093109	212,819811	1,652		378,448146	0,37844815	31,60042019	244,420231
GNL	74,1910229	238,8950937	102,9637854	31,97633087	2,967640916	9,555803749	4,118551416	112,3994	361,926067		2,716	279,649641	0,27964964	23,35074504	385,276812
GNC	201,756142	649,6547757	102,9637854	31,97633087	8,070245661	25,98619103	4,118551416	40,0343662	128,910659		2,716	279,649641	0,27964964	23,35074504	152,261404
HIDRÓGENO gas	104809,331	337486,0448	30,33999543	9,422358829	4192,373228	13499,44179	1,213599817	35,8049636	115,291983						115,291983
HIDRÓGENO liquido	133,084164	428,5310089	30,33999543	9,422358829	5,32336657	17,14124036	1,213599817	35,8049636	115,291983						115,291983
HIDRÓGENO Pila	84001,9751	270486,3597	24,31672374	7,551777559	3733,421114	12021,61599	1,080743277	43,0451321	138,605325						138,605325
ELÉCTRICO								16,6375454	53,5728962						53,5728962

ESCENARIO 6

								COSTES		EMISIONES			COSTES DE EMISIÓN		COSTE FINAL
Combustible	Econsumida [l/100km]	Econsumida [l]	Econsumida [kg]	Econsumida [kg/100km]	Consumo tonelada transportada [l/100kmt]	Consumo tonelada transportada [l/t]	Consumo tonelada transportada [kg/t]	Coste trayecto [€/100km]	Coste trayecto [€]	kgCO ₂ /l	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂	Toneladas CO ₂ emitidas [t]	Coste tonelada CO ₂ emitida [€]	Coste total trayecto [€]
DIESEL	37,6244203	121,1506334	100,797327	31,30351771	1,504976813	4,846025337	4,03189308	57,0009968	183,54321	2,482		300,695872	0,30069587	25,10810533	208,651315
BIO	40,6612875	130,9293457	109,9806504	34,1554815	1,6264515	5,23717383	4,399226017	65,05806	209,486953	2,407		315,146935	0,31514694	26,31476909	235,801722
HVO	39,2860847	126,5011926	98,50647867	30,59207412	1,571443386	5,060047704	3,940259147	73,2685479	235,924724	0,138		17,4571646	0,01745716	1,457673242	237,382397
GLP	71,1443584	229,0848341	128,2875071	39,84084072	2,845774337	9,163393365	5,131500284	66,093109	212,819811	1,652		378,448146	0,37844815	31,60042019	244,420231
GNL	74,1910229	238,8950937	102,9637854	31,97633087	2,967640916	9,555803749	4,118551416	112,3994	361,926067		2,716	279,649641	0,27964964	23,35074504	385,276812
GNC	201,756142	649,6547757	102,9637854	31,97633087	8,070245661	25,98619103	4,118551416	40,0343662	128,910659		2,716	279,649641	0,27964964	23,35074504	152,261404
HIDRÓGENO gas	137907,014	444060,5853	39,92104662	12,39784056	5516,280563	17762,42341	1,596841865	70,6676912	227,549966						227,549966
HIDRÓGENO liquido	175,110742	563,8565907	39,92104662	12,39784056	7,004429698	22,55426363	1,596841865	70,6676912	227,549966						227,549966
HIDRÓGENO Pila	84001,9751	270486,3597	24,31672374	7,551777559	3733,421114	12021,61599	1,080743277	43,0451321	138,605325						138,605325
ELÉCTRICO								16,6375454	53,5728962						53,5728962