

Trabajo Fin de Grado

Análisis y optimización de parámetros de diseño de vehículos eléctricos, utilizados para la distribución urbana de mercancías.

Analysis and optimization of designing parameters of electric vehicles, used for urban freight distribution.

Autora

Raquel Cortés Aznar

Director

Emilio Larrodé Pellicer



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Noviembre 2018



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

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

D./D^a. Raquel Cortés Aznar,
con nº de DNI 73003182-D en aplicación de lo dispuesto en el art.
14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo
de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la
Universidad de Zaragoza,

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

Análisis y optimización de parámetros de diseño de vehículos eléctricos, utilizados para la
distribución urbana de mercancías.

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

Zaragoza, 19 de noviembre de 2018

Fdo: Raquel Cortés Aznar

Resumen

El objetivo de este trabajo es determinar la configuración más óptima de vehículo eléctrico, en función de sus parámetros de diseño y sus prestaciones, para la realización de una operación de distribución de fruta y verdura en la ciudad de Madrid, y que permita obtener unos costes de operación más competitivos.

Hay que destacar que, para determinar la mejor configuración de prestaciones que tiene un vehículo en una operación de distribución, es necesario determinar cuál es la configuración de flota más óptima económicamente para una demanda determinada. Es por ello que en este trabajo se va a analizar tanto las características de un vehículo eléctrico como las de la flota necesaria.

La metodología de resolución que se seguirá para resolver el problema planteado es la siguiente:

Primero, se establecerán unos datos de partida para resolver la operación de distribución:

1. Los puntos de reparto se determinarán con el programa de Google Maps.
2. Se establecerá una posible demanda para cada cliente.
3. A partir del parque de vehículos eléctricos disponibles comercialmente, utilizados para el transporte de mercancías, se determinarán las prestaciones de dos tipos de vehículos (A y B) que serán utilizados en el proceso de análisis.
4. Se establecerán cuatro posibles escenarios de trabajo, y con el programa de Google Maps se establecerán las rutas óptimas para cada uno de los escenarios.

Segundo, se analizará cada vehículo en su respectiva ruta dentro de cada escenario a través del programa de Automóviles Eléctricos para determinar sus prestaciones (consumo, peso de batería, etc.).

Tercero, se definirá una función de coste como herramienta para poder comparar los diferentes escenarios y determinar cuál de ellos es el más eficiente, de esta manera se determinará la combinación más óptima de vehículos eléctricos de acuerdo a sus prestaciones. Esta función de coste tiene en cuenta los dos factores que más afectan en el coste de operación de distribución, que son el coste de recursos humanos (coste horario) y el coste de los recursos materiales (vehículos).

Y cuarto, se analizarán y compararán los resultados de la función de coste para determinar cuál es el resultado más óptimo económicamente. También se observará en detalle los resultados obtenidos tanto de la función de coste por recursos humanos como de la función de coste por recursos materiales.

Para concluir, se establecerán unas conclusiones y unas futuras líneas de trabajo de este proyecto.

Agradecimientos

Agradecer la ayuda y el asesoramiento que me ha ofrecido el director del presente proyecto, Emilio Larrodé Pellicer, ya que sin cuya supervisión no habría sido posible desarrollar este trabajo de fin de grado.

Agradecer el apoyo recibido por mi pareja, familia y amigos a lo largo de todos estos años en los que ha durado la realización de mi carrera, tanto en los momentos buenos como en los malos.

Índice

1. Introducción	6
1.1 Objetivo	6
1.2 Justificación	6
1.3 Alcance	6
2. Antecedentes. Estado del arte	7
2.1 Problema de la distribución urbana de mercancías	7
2.1.1 Punto de vista operativo	7
2.1.2 Punto de vista medio ambiental	8
2.1.3 Punto de vista económico	9
2.2 Vehículos de transporte de mercancías	9
2.3 Unidades de transporte	10
3. Planteamiento del problema	10
3.1 Objetivo	11
3.2 Puntos de reparto y demanda	11
3.3 Tipo de producto	11
3.4 Vehículos de reparto	12
3.5 Resultados esperados	12
4. Metodología de resolución	13
4.1 Determinación de los puntos de reparto y su demanda	13
4.2 Determinación de los vehículos tipo	13
4.3 Establecimiento de los escenarios de trabajo y sus rutas de reparto	14
4.4 Análisis de las prestaciones de los vehículos para cada escenario	15
4.5 Análisis de la función de coste	16
4.5.1 Definición de la función de coste de recursos humanos	17
4.5.2 Definición de la función de coste de recursos materiales	17
4.6 Análisis de resultados y comparativa	17
5. Resolución del problema y análisis de resultados	17
5.1 Datos de partida	17
5.1.1 Puntos de reparto y su demanda	17
5.1.2 Vehículos tipo	19
5.1.3 Escenarios de trabajo y sus rutas de reparto	25
5.2 Análisis de las prestaciones de los vehículos para cada escenario	28
5.3 Cálculo de la función de coste	35
5.3.1 Cálculo del coste de recursos humanos	35
5.3.2 Cálculo del coste de recursos materiales	36
5.4 Análisis de resultados y comparativa	39
6. Conclusiones	46
7. Futura continuación del proyecto	47

8. Fuentes de información	47
Anexo I. Tablas de características de furgones diesel.	49
Anexo II. Tablas de características de furgones eléctricos.	67
Anexo III. Definición de los escenarios de trabajo y sus rutas de reparto.	77
Anexo IV. Cálculo con el programa de Automóviles Eléctricos.	88

1. Introducción

1.1 Objetivo

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado es determinar qué tipo de vehículo eléctrico es más óptimo, en función de sus parámetros de diseño y sus prestaciones, para realizar una operación de distribución de mercancías en un periodo de tiempo limitado en un entorno urbano y que ésta sea lo más económica posible e implique menor impacto medioambiental.

1.2 Justificación

Es muy importante hoy en día optimizar tanto los recursos humanos (horas de conducción) como los recursos materiales (alquiler de vehículos y su consumo) de una empresa dedicada a la distribución de mercancías en entornos urbanos para reducir los costes de la operación de distribución. Siendo un factor importante saber que tipo de vehículo utilizar, en función de sus parámetros de diseño y sus prestaciones, para unas demandas determinadas y que ruta que debe hacer, sin superar la autonomía y la capacidad del vehículo, tanto en carga como en volumen.

1.3 Alcance

En este proyecto lo que se va a hacer es analizar unos casos concretos de lo que sería una distribución real de mercancías en un entorno urbano, como la ciudad de Madrid.

Se va a considerar para la distribución un único tipo de producto, que en este proyecto será la fruta y la verdura. Ello conlleva que la operación de distribución se tiene que realizar en un periodo limitado de tiempo, que abarca desde el aprovisionamiento del producto en Mercamadrid hasta la hora de apertura de las fruterías.

Teniendo en cuenta que existe gran variedad de formatos en cuanto a las unidades de distribución de este tipo de producto, se van a considerar que son cajas de un volumen de $0,0285 \text{ m}^3$, y sabiendo que los pesos de las cajas varían entre un rango de 2-3 kg hasta los 20 kg, por lo que se va a suponer un peso medio por caja de 10 kg.

Para determinar la influencia de las características y las prestaciones de los vehículos que se van a utilizar en la operación de reparto, tenemos que considerar la composición más idónea de flota de vehículos que resuelva la operación de distribución. Para ello se van a plantear dos tipos de vehículos y cuatro escenarios posibles.

Se va a recopilar el parque actual de vehículos de reparto con sus características y sus prestaciones, para poder determinar tipos de vehículos de reparto estándares que no se alejen de la realidad. Dentro de los tipos estándares de vehículos de reparto se van a considerar dos tipos de furgones eléctricos, uno de tamaño pequeño con una capacidad de carga de 600 kg y un volumen de carga de 3 m^3 (más adelante nombrado como el tipo A o vehículo pequeño) y otro de tamaño grande con una capacidad de carga de 1.000 kg y un volumen de carga de 9 m^3 (más adelante como tipo B o vehículo grande), lo que va a permitir valorar la configuración más idónea del vehículo para el tipo de operación a realizar.

Se van a plantear cuatro escenarios posibles de operación para realizar la distribución de fruta en Madrid, siendo el primer caso con tres vehículos grandes, el segundo caso con dos vehículos grandes y dos pequeños, el tercer caso con un vehículo grande y tres pequeños y, por último, un cuarto caso con cinco vehículos pequeños.

Para determinar la mejor configuración de prestaciones que tiene un vehículo en una operación de distribución, es necesario determinar cuál es la configuración de flota más óptima económicamente para una demanda determinada.

Se va a realizar un estudio comparativo a través de una función de coste que depende de dos factores: por un lado, el coste por recursos humanos, lo que hace referencia a las horas empleadas en conducción, y por otro lado, el coste de recursos materiales, en lo que hay que destacar que se va a considerar que los furgones eléctricos son alquilados, por tanto, sólo se van a tener en cuenta los costes de alquiler y de kilometraje o consumo del vehículo.

2. Antecedentes. Estado del arte

2.1 Problema de la distribución urbana de mercancías

2.1.1 Punto de vista operativo



Figura 1. Distribución urbana de mercancías

A la hora de gestionar la distribución de productos de una empresa existe una serie de dificultades:

Una de ellas es que una empresa cuenta con un número amplio de clientes, lo que complica el modo de obtener la formulación más óptima posible para gestionar el reparto a todos ellos y con el menor coste. Además, la demanda es diferente entre clientes, tanto en producto, entendido como producto uno de los subproductos que se distribuyen dentro de la misma empresa, como en cantidad, es decir, puede variar el número de cajas de un cliente a otro.

Otras dificultades están relacionadas con el tráfico y las vías, como por ejemplo, pueden existir vías de un único sentido de circulación o vías en obras, que obligan a hacer un recorrido alternativo al recorrido realmente óptimo y, por tanto, más largo. También están los semáforos, que aumentan el tiempo de reparto. En determinados tramos el ancho de las vías no permiten el paso de grandes vehículos, lo que limita la capacidad de transporte.

Otro factor a tener en cuenta es el tiempo del que se dispone para el reparto, éste viene condicionado por las ventanas temporales de los clientes, es decir, sus horarios de apertura o de disponibilidad para hacer la entrega, y también se debe llegar a tiempo al último punto de reparto para no perjudicar al último cliente.

Existe también otra limitación en cuanto a motor se refiere, a la hora de elegir en el mismo vehículo si se selecciona un motor diesel o un motor eléctrico, está demostrado actualmente que el diesel tiene mayor autonomía que el motor eléctrico.

2.1.2 Punto de vista medio ambiental

La reducción de la contaminación en las ciudades es un tema que está a la orden del día, por eso este proyecto se centra en la distribución urbana de mercancías con vehículos eléctricos que medioambientalmente son mucho más eficientes que los vehículos de tracción diésel o gasolina.

Aunque actualmente los vehículos de distribución están motorizados con gasoil y gasolina. El gobierno europeo y el español están enfocados en reducir la contaminación dentro de las ciudades y mejorar la calidad del aire. Por este motivo, en la actualidad, muchas ciudades europeas están empezando a prohibir la circulación de vehículos diésel/gasolina. El gobierno español ha aprobado el *Plan nacional del Aire 2017-2019*, en el que se establecen las actuaciones para mejorar la calidad del aire.

Recientemente, está siendo muy nombrada la *Ley de de Cambio Climático y Transición Energética*. Con esta ley lo que busca el gobierno de España es comprometerse en la lucha contra el cambio climático reduciendo la emisión de los gases de efecto invernadero. Entre una de sus actuaciones se contempla prohibir la matriculación y venta de vehículos diesel, de gasolina e híbridos para el año 2050, es decir, sólo podrán circular en España vehículos eléctricos (o cualquier otra tecnología que pueda surgir y que no emita CO_2).

2.1.3 Punto de vista económico

Actualmente la utilización de vehículos eléctricos está limitada debido al coste tan elevado de inversión que representan estos vehículos.

Sin embargo, la utilización de estos vehículos requiere un coste de mantenimiento y un coste de explotación mucho menor. Es por ello por lo que en la mayoría de las ciudades las nuevas tendencias en el problema de distribución están enfocadas hacia este tipo de vehículos, aunque la inversión es fuerte pero a la larga es más económico.

2.2 Vehículos de transporte de mercancías



Figura 2. Furgones para el transporte de mercancías.

En la actualidad existe una gran variedad de vehículos en el mercado con motorización diesel para la distribución de mercancías. Aunque, las grandes marcas comerciales de vehículos están lanzando los primeros furgones con tracción eléctrica, cabe destacar que todavía no son tan eficientes con los vehículos con tracción diesel.

En algunas ocasiones, según el tipo de producto que se va a distribuir es necesario un tipo de vehículo especial, como por ejemplo: en la distribución de cervezas, en la distribución de medicamentos para farmacias o la distribución de carnes o pescados, que se requiere de la necesidad de un vehículo refrigerado.



Figura 3. Distribución de cerveza.

Centrándonos en los furgones para distribución de mercancías, podemos encontrar desde furgones pequeños con una capacidad de aproximadamente $2,5 - 3 \text{ m}^3$ hasta furgones muy grandes con más de 19 m^3 .

2.3 Unidades de transporte

Como se ha dicho anteriormente, el tipo de producto que distribuye una empresa es un factor muy influyente a la hora de seleccionar una flota de vehículos adecuada. También influye en la selección del contenedor del producto, tanto en la forma de éste como en el material del que está compuesto. Algunos ejemplos son: en el reparto de productos farmacéuticos los productos se introducen en unos contenedores especiales sellados y en la distribución de cerveza el producto está contenido en botellas de cristal o barriles de metal.

Centrándonos en la distribución de fruta y verdura, aunque se intenta normalizar los tamaños de las unidades de transporte, la problemática es que existen diferentes formatos de envase, como sucede por ejemplo con una caja de plátanos o una caja de kiwis, lo que provoca dificultad a la hora de gestionar el almacenamiento dentro del vehículo de reparto. También existen diferentes materiales para los envases de fruta y verdura como el cartón, la madera y el plástico.



Figura 4. Cajas de fruta y verdura.

3. Planteamiento del problema

El problema consiste en la distribución de productos (fruta y verdura) en los comercios de una gran ciudad con una limitación en cuanto al tiempo de reparto. Para ello se va a analizar el problema con datos reales que corresponden a unas ubicaciones concretas de los comercios, una demanda de producto estimada y una flota de vehículos determinada.

3.1 Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es determinar qué tipo de vehículo eléctrico es más óptimo, en función de sus parámetros de diseño y sus prestaciones, para realizar una operación de distribución de fruta y verdura en la ciudad de Madrid y que ésta sea lo más económica posible.

Se planteará una función de coste, la cual tiene en cuenta las características y las prestaciones del vehículo, como herramienta para determinar cuál es el resultado más óptimo económicamente, y se valorará en cuatro escenarios diferentes de trabajo.

3.2 Puntos de reparto y demanda

Se establecerá la ciudad de Madrid como escenario para el desarrollo de este proyecto, porque es una ciudad lo suficientemente grande para poner al límite la autonomía de los vehículos eléctricos que se seleccionarán para el estudio.

Se van a seleccionar a 24 fruterías a las que hay que realizar la distribución de los pedidos y se establecerá una demanda determinada para cada una de ellas.

3.3 Tipo de producto

En este proyecto nos centramos en la distribución de fruta y verdura. Dentro del abanico de posibilidades en cuanto al formato de la caja de este producto, que existen en el mercado actual, se van a considerar como unidad de distribución: una caja de un tamaño medio de 500 x 300 x 190 mm, es decir, que ocupan un volumen de $0,0285 \text{ m}^3$ y un peso medio de 10 kg en producto, como la que se representa en la Figura 5.



Figura 5. Caja para distribución de fruta y verdura.

3.4 Vehículos de reparto

Al objeto de caracterizar de forma apropiada las características y las prestaciones de los vehículos que actualmente se están utilizando para hacer la distribución de mercancías en entornos urbanos, se realizará un estudio detallado de las alternativas actuales. En este estudio se podrá determinar las características y prestaciones de partida de los vehículos que se van a utilizar en el análisis de la operación completa de transporte.

Como este trabajo se centra en furgones eléctricos, se realizará una búsqueda de información de los furgones diesel y los furgones eléctricos que existen en el mercado actual. En el estudio, utilizando la información de los furgones eléctricos actuales, se observarán diferentes características y prestaciones, como capacidad de carga, peso en orden de marcha, masa máxima autorizada, volumen de carga, peso de batería, autonomía, capacidad de la batería y potencia del motor, para establecer dos vehículos tipo para el desarrollo del proyecto.



Figura 6. Vehículos tipo.

3.5 Resultados esperados

Con este trabajo se pretende determinar la metodología necesaria para poder seleccionar la operación de distribución más óptima teniendo en cuenta tres aspectos:

1. La demanda de producto diaria y su ubicación,
2. las características y prestaciones de los vehículos utilizados, y
3. la combinación óptima de tipo de vehículo para cada escenario.

4. Metodología de resolución

4.1 Determinación de los puntos de reparto y su demanda

Se van a determinar geográficamente un número determinado de puntos de reparto en la ciudad de Madrid a los cuales se va a realizar la distribución a través del programa de Google Maps. Estos puntos de reparto son las fruterías clientes de la empresa distribuidora a las que hay que realizar el reparto de los pedidos.

También se va a establecer la demanda de cada cliente. Teniendo en cuenta el número de cajas que pide cada cliente, se agruparán los pedidos de tal forma que no superen la capacidad, tanto de carga como volumétrica, de cada vehículo.

4.2 Determinación de los vehículos tipo

Se hará una recopilación de información del parque actual de furgones usados para la distribución de mercancías, tanto de furgones diesel como eléctricos, y se crearán unas tablas de elaboración propia (ver Anexos I y II) con las características más relevantes para el proyecto.

Se observarán diferentes características de los vehículos eléctricos a través de unas tablas y unos gráficos comparativos, como capacidad de carga, peso en orden de marcha, masa máxima autorizada, volumen de carga, peso de batería, autonomía, capacidad de la batería y potencia del motor, para establecer dos vehículos tipo.

El resultado final de este análisis será la determinación de los dos tipos de vehículos que se van a utilizar en el análisis.

A continuación se define cada una de las características y de los parámetros de diseño que se van a valorar para determinar los tipos de vehículos:

- *Peso en orden de marcha*: Es la suma del peso del vehículo en vacío, el peso estándar de un conductor (70 kg) y los líquidos (aceite, refrigerante,...).
- *Capacidad de carga*: Peso de mercancía máximo admisible que se puede transportar en un vehículo. Esta prestación es muy importante porque tiene gran influencia en el consumo de la batería. Cuanta más se carga el vehículo más consumo de batería se producirá.
- *Masa máxima autorizada*: Es la suma del peso en orden de marcha y la capacidad de carga. Es la masa máxima permitida para poder circular por carretera.

- *Volumen de carga*: Volumen de mercancía máximo admisible que se puede transportar en un vehículo. En términos de distribución esta prestación puede influir en la longitud de la ruta, ya que si se aumenta el volumen del vehículo se aumenta el número de repartos.
- *Peso de batería*: Masa de la batería eléctrica en kilogramos.
- *Autonomía*: Distancia máxima que puede recorrer un medio de transporte, en este caso, un vehículo eléctrico de transporte urbano de mercancías antes de detenerse para recargar la batería.
- *Capacidad de la batería*: Energía que almacena una batería eléctrica en kilovatios-hora.
- *Potencia del motor*: Es el trabajo o energía que desarrolla en la unidad de tiempo. Medido en kilovatios. Esta prestación influye en la capacidad de aceleración de un vehículo. La forma de conducción es diferente entre la distribución urbana y la distribución suburbana de mercancías, debido a que en la conducción suburbana se producen mayor número de aceleraciones, para este caso sería necesario incrementar la potencia del vehículo, aunque daría lugar a mayor consumo, pero permite llegar a tiempo al destino. También hay que tener en cuenta que la potencia depende de la ruta, la operación logística y la ventana temporal de reparto.

4.3 Establecimiento de los escenarios de trabajo y sus rutas de reparto

Al objeto de poder comparar las diferentes alternativas y poder seleccionar la más adecuada, se van a plantear una combinación de uso de diferentes tipos de vehículos que resuelvan el problema de distribución. A esta combinación de vehículos le vamos a denominar escenarios de trabajo.

Una vez determinados los puntos de reparto, la demanda y los vehículos tipo, se establecerán cuatro escenarios posibles con los que se resolverá la operación de distribución:

- Escenario 1: Tres vehículos grandes.
- Escenario 2: Dos vehículos grandes y dos pequeños.
- Escenario 3: Un vehículo grande y tres pequeños.
- Escenario 4: Cinco vehículos pequeños.

Para cada ruta el punto de origen es Mercamadrid, así como también es el punto de destino final. Se realiza la distribución a una serie de puntos, teniendo en cuenta que no se supera la autonomía y la capacidad, tanto volumétrica como de carga, de cada vehículo.

4.4 Análisis de las prestaciones de los vehículos para cada escenario

Se calculará una velocidad media para cada una de las rutas con los datos obtenidos en los mapas de Google Maps. Y después, se analizarán las prestaciones de cada uno de los vehículos en sus respectivas rutas dentro de cada escenario a través del programa de Automóviles Eléctricos, desarrollado en el departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura.



Figura 7. Programa de Automóviles Eléctricos.

Teniendo en cuenta que mientras cada vehículo realiza el reparto, su peso total disminuye de manera progresiva, debido a que va dejando producto en cada cliente. Se realizarán dos cálculos de las prestaciones de cada vehículo con el programa de Automóviles Eléctricos, uno como si fuera totalmente cargado y otro cálculo como si fuera totalmente vacío. Una vez obtenidos estos dos valores de cada parámetro, se calculará un valor promedio de los resultados obtenidos para aproximarse a la realidad.

Posteriormente, se realizará una serie de análisis de los resultados obtenidos:

1. Se representará unos gráficos con la energía consumida y el peso de batería necesario para realizar la operación de cada escenario, y se hará una exploración de los resultados obtenidos.
2. Se calculará un coeficiente de seguridad del peso de batería para comprobar que los resultados obtenidos están dentro de la realidad y no se supera el máximo de batería.
3. Se realizará una comparación con peso de batería obtenido en el cálculo y el peso de batería ofrecida por el fabricante para establecer unas hipótesis.

4. Sabiendo que, se recomienda que el sistema de energía del vehículo debe ser inferior al 5% del peso total. Se realizará una comprobación tanto para vehículos diesel como vehículos eléctricos.
5. También se representará en un gráfico con el consumo específico por escenario para poder hacer un estudio comparativo de los cuatro escenarios.

A continuación, se va a definir el concepto de consumo, ya que se va a tener en cuenta en el análisis:

- *Consumo*: Este término hace referencia a la cantidad de energía que utiliza un vehículo para realizar un trayecto. Esta prestación relaciona la duración de la batería con el peso del vehículo. Cuanto más pesado el vehículo menos durará la batería.

4.5 Análisis de la función de coste

Para determinar qué agrupación de flota de vehículo eléctrico es más óptima, se analizará a través de una función de coste.

Esta función de coste se define como la suma de la función de coste de recursos humanos y la función de coste de recursos materiales. La función de coste de recursos materiales, a su vez, es la suma de la función de coste de alquiler y la función de coste de kilometraje o consumo.

$$f_{\text{coste}} = f_{\text{coste}_{rrhh}} + f_{\text{coste}_{\text{recursos materiales}}} = f_{\text{coste}_{rrhh}} + f_{\text{coste}_{\text{alquiler}}} + f_{\text{coste}_{\text{kilometraje o consumo}}}$$

La función de coste depende del tiempo de operación, el cual engloba el tiempo de conducción total y el tiempo de parada total.

$$f_{\text{coste}} = f(t_{\text{operación}})$$

$$t_{\text{operación}} = t_{\text{conducción}} + t_{\text{parada}}$$

El tiempo de conducción se define como la suma del tiempo de rodadura total, el tiempo total empleado en semáforos y la suma de los tiempos que tarda en aparcar el operario para hacer el reparto a cada cliente.

$$t_{\text{conducción}} = t_{\text{rodadura}} + t_{\text{semáforos}} + t_{\text{aparcar}}$$

Y por último, el tiempo de parada se define como el producto entre el número de paradas y el tiempo medio de parada que emplea el operario para la carga y descarga del producto.

$$t_{\text{parada}} = n^{\circ} \text{ paradas} \cdot t_{\text{medio parada}}$$

4.5.1 Definición de la función de coste de recursos humanos

La función de coste de recursos humanos se determina como el producto entre el precio por hora de de conductor (€/ h de conductor) y el tiempo total de la operación de distribución (h).

$$f \text{ coste}_{rrhh} = \text{Precio}_{rrhh} \cdot t \text{ operación}$$

4.5.2 Definición de la función de coste de recursos materiales

Como hemos mencionado anteriormente, para realizar la operación de distribución se van alquilar los vehículos. Por tanto, la función de coste de recursos materiales es la suma de la función de coste por el alquiler del vehículo y la función de coste de kilometraje o consumo.

$$f \text{ coste}_{\text{recursos materiales}} = f \text{ coste}_{\text{alquiler}} + f \text{ coste}_{\text{kilometraje o consumo}}$$

Para el cálculo del coste de recursos materiales nos basaremos en cuatro métodos diferentes, que serán explicados en el apartado 5.3.2.

4.6 Análisis de resultados y comparativa

Una vez obtenidos los resultados a través de la función de coste, se analizarán y se compararán para determinar cuál es la combinación de vehículos más óptima.

También se va a realizar un análisis en detalle tanto de los resultados obtenidos en la función de coste total como los de la función de coste de recursos humanos y los de la función de coste de recursos materiales en cada uno de sus diferentes métodos.

5. Resolución del problema y análisis de resultados

5.1 Datos de partida

Los datos de partida son los siguientes:

5.1.1 Puntos de reparto y su demanda

Se han establecido como puntos de reparto 24 fruterías en la ciudad de Madrid con el programa de Google Maps. La geografía de los puntos de reparto establecidos viene representada en el mapa de la figura 8:



Figura 8. Puntos de reparto en la ciudad de Madrid.

En la Figura 9 viene representada la lista de los nombres de las fruterías seleccionadas:

- Frutería - Verdulería
- Fruta Y Verdura "La Huerta"
- Frutería Bea
- Frutería BD
- Frutería Chinita
- Frutería Cipri
- Frutería De Temporada
- Frutería David
- Frutería Frutas Charito
- Frutería Fernando y Candy
- Frutería Hermanos Berzal
- Frutas Vázquez Jr
- Disfruta & Verdura - Madrid
- Frutas Y Verduras
- Frutas y Verduras Valle del Ebro
- Frutería José
- Frutería
- Frutería
- Frutería Los Chicos
- Frutería Y Panadería Pruden
- Frutería PINK LADIES
- Frutería Manoli
- Frutería Villaverde
- Frutas Rosi S.L.

Figura 9. Listado de fruterías seleccionadas para el estudio.

Se ha establecido una demanda total de 2700 kg, lo que supone el reparto de 270 cajas, y se ha asignado un pedido determinado para cada frutería.

La demanda viene expresada en la tabla 1 en número de cajas que ha solicitado cada frutería:

Punto de reparto	Demanda	Punto de reparto	Demanda
Frutería - Verdulería	14	Disfruta & Verdura - Madrid	4
Fruta Y Verdura "La Huerta"	12	Frutas Y Verduras	1
Frutería Bea	9	Frutas y Verduras Valle del Ebro	16
Frutería BD	12	Frutería José	11
Frutería Chinita	15	Frutería	9
Frutería Cipri	14	Frutería	10
Frutería De Temporada	18	Frutería Los Chicos	9
Frutería David	16	Frutería Y Panadería Pruden	13
Frutería Frutas Charito	6	Frutería PINK LADIES	10
Frutería Fernando y Candy	16	Frutería Manoli	12
Frutería Hermanos Berzal	17	Frutería Villaverde	11
Frutas Vázquez Jr	5	Frutas Rosi S.L.	10
Total demanda (cajas)			270
Total demanda (kg)			2700

Tabla 1. Demanda de las fruterías.

5.1.2 Vehículos tipo

En primer lugar, se ha realizado una búsqueda de furgones usados para transporte de mercancías, tanto diesel como eléctricos, que hay en el mercado actual (ver en tablas de elaboración propia en los Anexos I y II).

Con la información obtenida de los furgones eléctricos, se han desarrollado unas tablas y unos gráficos de comparación de características y prestaciones de los vehículos eléctricos actuales. Esto nos ha permitido poder determinar los dos vehículos tipo que se van a utilizar en el análisis de optimización. Se ha observado que existen dos grandes grupos, uno está formado por furgones pequeños y otro por furgones grandes.

El proceso que se ha utilizado para caracterizar estos dos grandes grupos es el siguiente:

1. Se han analizado características relativas a las capacidades de los vehículos (pesos y volúmenes).
2. Se han analizado características relacionadas con prestaciones del vehículo (autonomía, capacidad de la batería, peso de batería y potencia del motor).

A continuación se van a establecer unas siglas para los parámetros analizados:

- POM: Peso en orden de marcha (kg).
- MMA: Masa máxima autorizada (kg).
- Q: Capacidad de carga del vehículo (kg).
- V: Volumen de carga del vehículo (m^3).
- A: Autonomía (km).
- C: Capacidad de la batería (kWh).
- P: Potencia del motor (kW).
- B: Peso de la batería (kg).

En las tablas 2, 3 y 4 se muestran los valores de todos los parámetros valorados de los diferentes tipos de vehículos:

La tabla 2 corresponde al primer grupo, que corresponde a los vehículos con los que hemos determinado el vehículo de tipo A.

Vehículo	POM (kg)	MMA (kg)	Q (kg)	V (m3)	A (km)	C (kWh)	P (kW)	B (kg)
Renault Kangoo Z.E.	1430	2130	650	3	270	33	44	260
NISSAN e-NV200	1517	2220	703	4,2	275	24	80	220
Peugeot Partner Electric	1664	2225	625	3,3	170	22,5	49	175
Citroën Berlingo Electric	1605	2225	620	3	170	22,5	49	175
Tipo A	1500	2100	600	3	220	30	50	200

Tabla 2. Vehículos tipo A.

Cabe destacar que el furgón Mercedes-Benz e-Vito no entra dentro de ninguno de los dos grupos que hemos establecido, ya que tiene unos valores de parámetros intermedios, por tanto lo vamos a considerar fuera de las dos clasificaciones.

Vehículo	POM (kg)	MMA (kg)	Q (kg)	V (m3)	A (km)	C (kWh)	P (kW)	B (kg)
Mercedes Benz e-Vito	2163	3050	900	6,6	130	36	60	140

Tabla 3. Vehículo intermedio.

Y la tabla 3 corresponde al segundo grupo, que corresponde a los vehículos con los que hemos determinado el vehículo de tipo B.

Vehículo	POM (kg)	MMA (kg)	Q (kg)	V (m3)	A (km)	C (kWh)	P (kW)	B (kg)
Renault Master Z. E.	2172	3300	1128	8	200	33	57	265
LDV EV 80	2550	3500	950	10,2	200	56	100	328
Mercedes Benz e-Sprinter	2600	3500	900	10,5	115	41	84	250
Volkswagen e-Crafter	2541	4250	1000	11,3	200	35,8	100	240
Tipo B	2500	3500	1000	9	200	40	100	250

Tabla 4. Vehículos tipo B.

A continuación se exponen los gráficos comparativos que muestran de una forma más clara la clasificación establecida:

En los gráficos de las figuras 10, 11 y 12 se compara la capacidad de carga (Q), el peso en orden de marcha (POM), la masa máxima autorizada (MMA) y el volumen (V) de los diferentes tipos de vehículos.

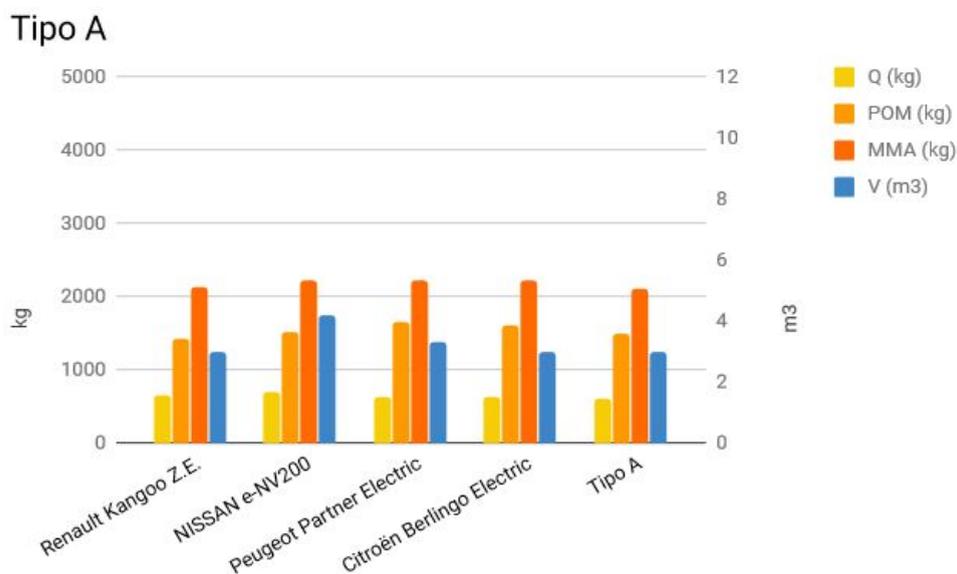


Figura 10. Características y prestaciones de los vehículos tipo A.

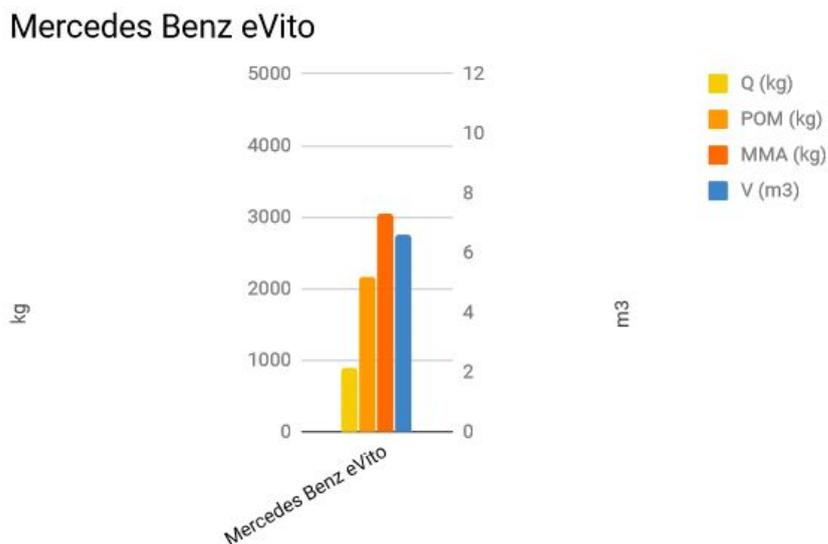


Figura 11. Características y prestaciones del vehículo intermedio.

Tipo B

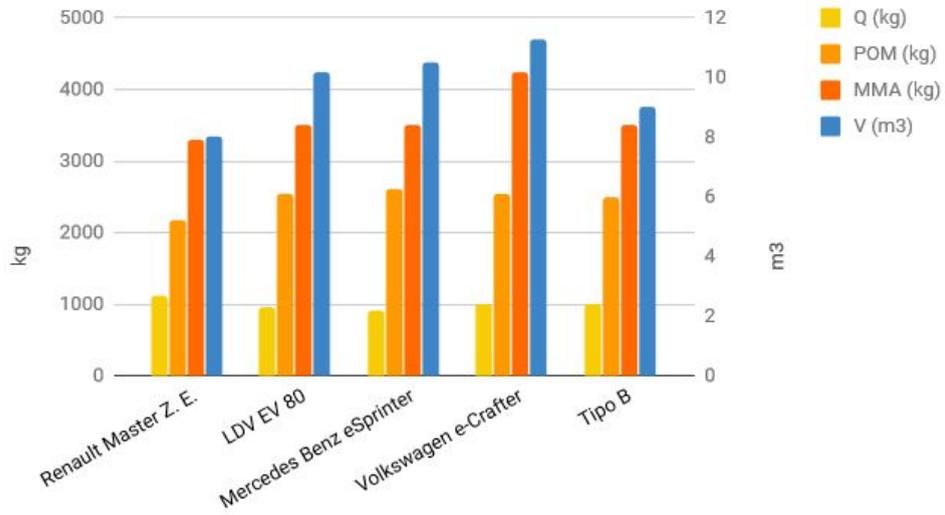


Figura 12. Características y prestaciones de los vehículos tipo B.

En los gráficos de las figuras 13, 14 y 15 se compara el peso de batería (B), la capacidad de carga (Q), la autonomía (A) y la capacidad de la batería (C) de los diferentes tipos de vehículos.

Tipo A

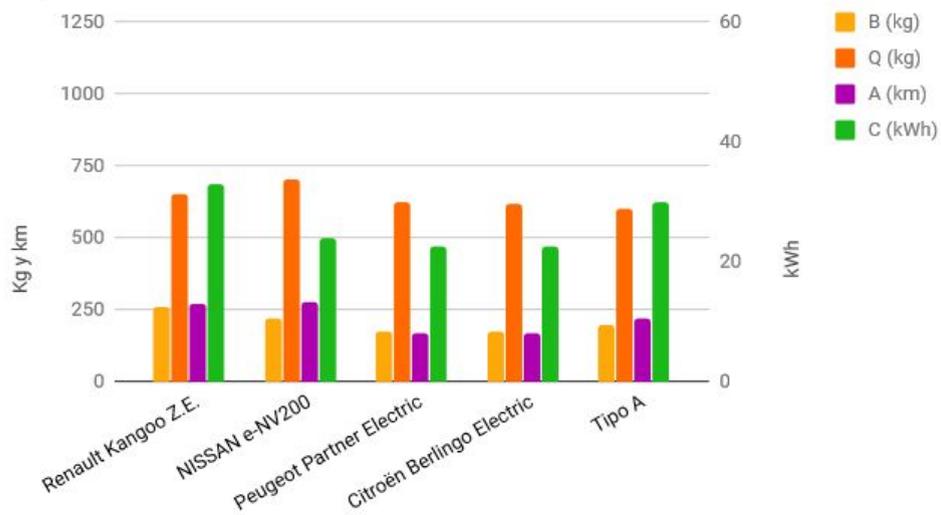


Figura 13. Características y prestaciones de los vehículos tipo A.

Mercedes Benz eVito

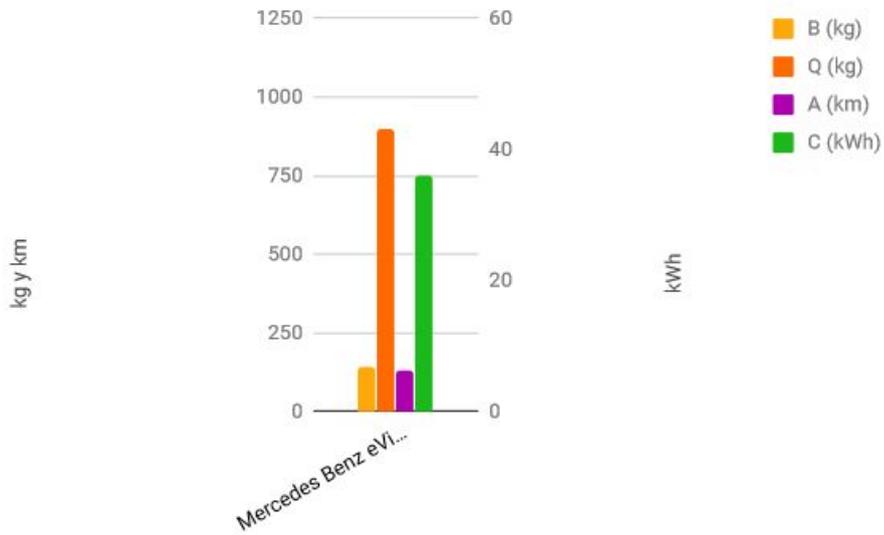


Figura 14. Características y prestaciones del vehículo intermedio.

Tipo B

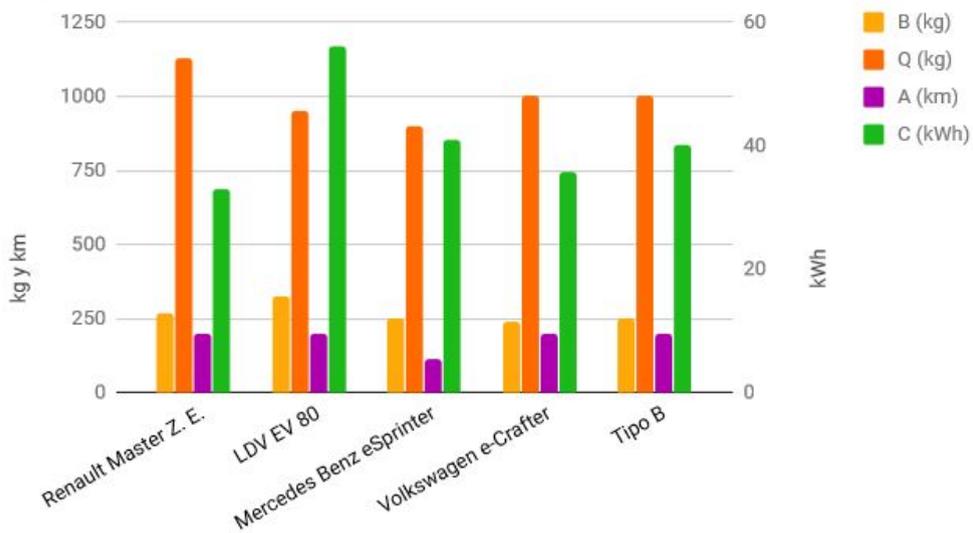


Figura 15. Características y prestaciones de los vehículos tipo B.

Y por último, en los gráficos de las figuras 16, 17 y 18 se compara la capacidad de la batería (C) y la potencia del motor (P) de los diferentes tipos de vehículos.

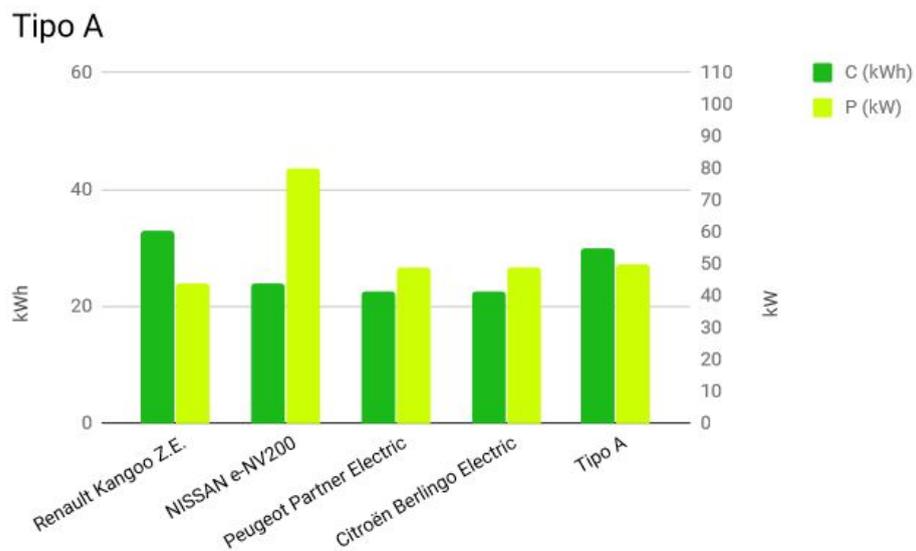


Figura 16. Capacidad de batería y potencia de motor de los vehículos tipo A.

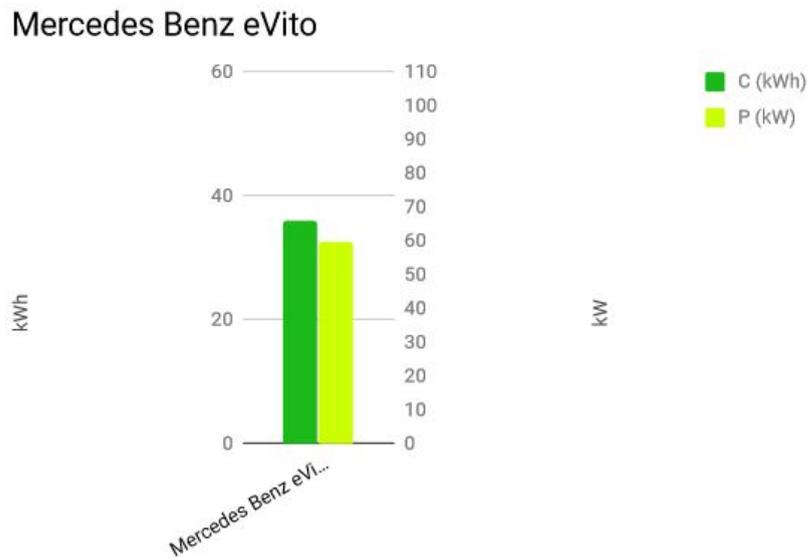


Figura 17. Capacidad de batería y potencia de motor del vehículo intermedio.

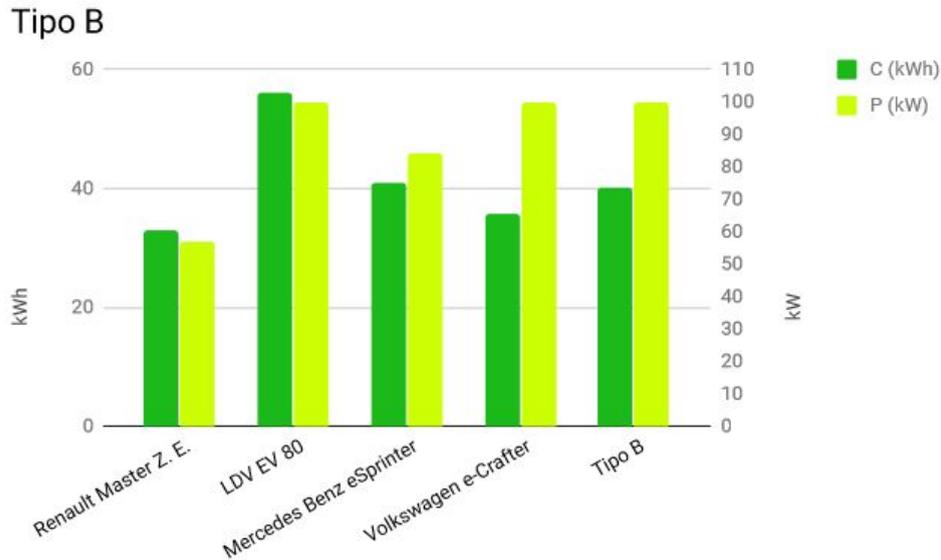


Figura 18. Capacidad de batería y potencia de motor de los vehículos tipo B.

Como se ha mencionado anteriormente, a partir de este análisis se han determinado unos valores medios en cuanto a características y prestaciones para los dos vehículos tipo seleccionados, que vienen representados en la tabla 5:

Vehículo	POM (kg)	MMA (kg)	Q (kg)	V (m3)	A (km)	C (kWh)	P (kW)	B (kg)
A	1500	2100	600	3	220	30	50	200
B	2500	3500	1000	9	200	40	100	250

Tabla 5. Características y prestaciones de los vehículos tipo A y B.

El primero, corresponde al vehículo tipo A, que es un furgón de un tamaño pequeño, y el segundo corresponde al vehículo tipo B, que es un furgón de tamaño grande. Estos dos vehículos tipo son los que se van a utilizar para realizar el estudio.

También, hay que añadir que para análisis posteriores se va a considerar que los valores de la tabla 5 se van a considerar como valores dados por un fabricante.

5.1.3 Escenarios de trabajo y sus rutas de reparto

Se han establecido cuatro combinaciones de uso de flota con el programa de Google Maps. De aquí en adelante las denominaremos como escenarios de trabajo.

- Escenario 1: Tres vehículos grandes.
- Escenario 2: Dos vehículos grandes y dos pequeños.
- Escenario 3: Un vehículo grande y tres pequeños.
- Escenario 4: Cinco vehículos pequeños.

A continuación se muestra un ejemplo de un escenario y sus rutas, pero para ver todos los escenarios y sus rutas ir al Anexo III:

Escenario 1



Figura 19. Escenario 1.

En el escenario 1 se realiza la operación de distribución con tres vehículos de tipos B.

Ruta 1

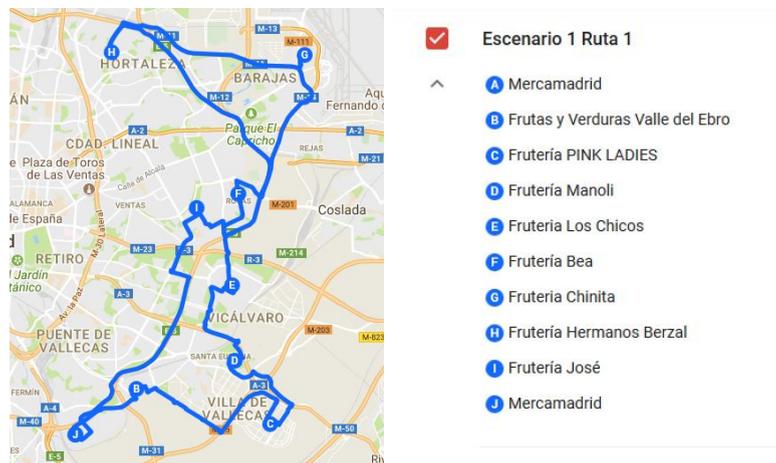


Figura 20. Ruta 1 del escenario 1 y listado de clientes de la ruta 1.

En la ruta 1 se usa un vehículo de tipo B con 99 unidades de distribución y recorre una distancia de 63 km en 2 horas y 43 minutos.

Ruta 2

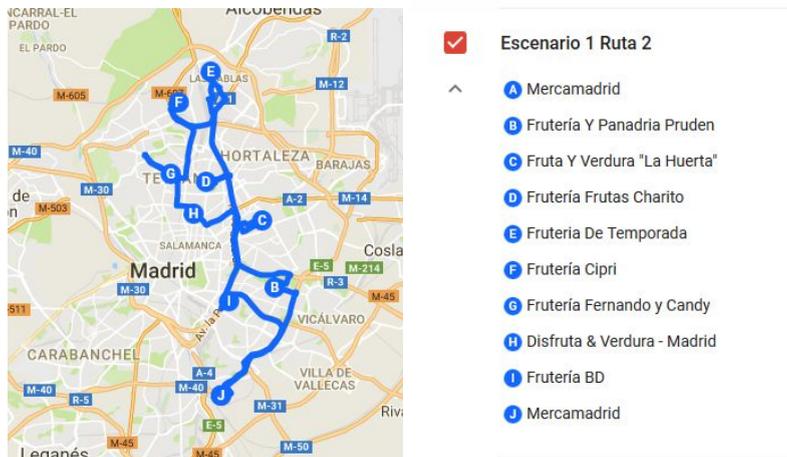


Figura 21. Ruta 2 y listado de clientes de la ruta 2.

En la ruta 2 se usa un vehículo de tipo B con 95 unidades de distribución y recorre una distancia de 69 km en 2 horas y 57 minutos.

Ruta 3

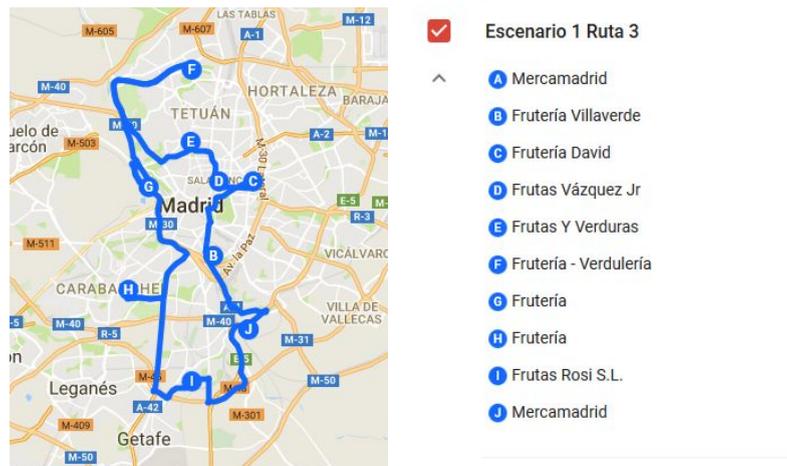


Figura 22. Ruta 3 y listado de clientes de la ruta 3.

En la ruta 3 se usa un vehículo de tipo B con 76 unidades de distribución y recorre una distancia de 75 km en 3 horas y 11 minutos.

Notar que para cada ruta el punto de origen es Mercamadrid, así como también es el punto de destino final.

En conclusión, en el escenario 1 se recorre una distancia total de 207 km. Teniendo en cuenta que todos los vehículos parten de Mercamadrid a la vez, la distribución es realizada en 3 horas y 11 minutos.

Como se ha mencionado anteriormente, para ver en más detalle todos los escenarios y sus rutas ir al Anexo III.

A continuación se expresa un resumen de los datos obtenidos más relevantes de los cuatro escenarios de trabajo y sus rutas en la tabla 6:

Escenario	Ruta	Tipo de vehículo	Número de cajas	Distancia (km)	Tiempo total de ruta	Número de vehículos	Distancia total escenario (km)	Tiempo total escenario
1	1	B	99	63	2 h 43 min	3	207	3 h 11 min
	2	B	95	69	2 h 57 min			
	3	B	76	75	3 h 11 min			
2	1	B	99	63	2 h 43 min	4	228	2 h 57 min
	2	B	95	69	2 h 57 min			
	3	A	20	47	1 h 23 min			
	4	A	40	49	1 h 52 min			
3	1	B	99	63	2 h 43 min	4	223	2 h 43 min
	2	A	59	44	1 h 55 min			
	3	A	52	49	2 h 01 min			
	4	A	60	67	2 h 23 min			
4	1	A	56	36	1 h 39 min	5	254	2 h 07 min
	2	A	57	53	2 h 04 min			
	3	A	60	43	1 h 54 min			
	4	A	59	64	2 h 07 min			
	5	A	38	58	1 h 59 min			

Tabla 6. Resumen de datos de los cuatro escenarios.

5.2 Análisis de las prestaciones de los vehículos para cada escenario

Antes de realizar los cálculos con el programa de Automóviles eléctricos se ha calculado la velocidad media (ver en la tabla 7) de cada ruta con los datos obtenidos (distancia recorrida y tiempo de conducción para cada ruta) en los mapas de Google a través de la siguiente expresión:

$$v_{media} = \frac{Distancia}{Tiempo\ de\ conducción}$$

	Tipo de vehículo	Distancia (km)	Tiempo de conducción (h)	Velocidad media (km/h)
ESC1				
Ruta 1	B	63	1,72	37
Ruta 2	B	69	1,95	35
Ruta 3	B	75	2,18	34
ESC2				
Ruta 1	B	63	1,72	37
Ruta 2	B	69	1,95	35
Ruta 3	A	47	1,00	47
Ruta 4	A	49	1,18	41
ECS3				
Ruta 1	B	63	1,72	37
Ruta 2	A	44	1,28	34
Ruta 3	A	49	1,38	35
Ruta 4	A	67	1,63	41
ESC4				
Ruta 1	A	36	1,02	35
Ruta 2	A	53	1,43	37
Ruta 3	A	43	1,27	34
Ruta 4	A	64	1,48	43
Ruta 5	A	58	1,48	39

Tabla 7. Cálculo de velocidades medias.

En algunos casos la velocidad media es más elevada debido a que los vehículos circulan por grandes avenidas en las que pueden circular a mayor velocidad.

Una vez obtenidas las velocidades medias, se ha analizado cada vehículo en cada ruta dentro de su respectivo escenario con el programa de Automóviles Eléctricos (ver detalles del análisis con el programa en el Anexo IV).

Teniendo en cuenta que los vehículos van realizando una descarga progresiva lo que se aproxima a una función lineal, se han realizado los cálculos con la hipótesis de que los vehículos van con carga máxima y otra con la hipótesis de que los vehículos van sin carga, y posteriormente se han calculado los valores medios de los resultados obtenidos en el programa de Automóviles eléctricos para obtener unos valores más aproximados a la realidad.

En la tabla 8 se expresa el resumen de valores obtenidos tras el cálculo con el programa de Automóviles Eléctricos y el cálculo de los valores promedio:

	Tipo de vehículo	Energía de aceleración (kWs)	Energía de cruceo (kWs)	Energía del ciclo (kWs)	Energía total (kWh)	Tiempo de descarga (min)	Peso de batería (kg)	% Capacidad de descarga en 5 h	Capacidad de la batería (Ah)	% Peso Batería sobre el peso de vehículo
ESC1										
Ruta 1	B	169,64	35537,90	35707,54	9,92	103,98	126,33	96,93	137,76	4,24
Ruta 2	B	159,43	37306,08	37465,50	10,41	118,00	131,28	97,87	144,55	4,40
Ruta 3	B	150,57	40123,01	40273,59	11,19	132,00	140,64	98,20	155,38	4,72
Total					31,51		398,25			
ESC2										
Ruta 1	B	169,64	35537,90	35707,54	9,92	103,98	126,33	96,93	137,76	4,24
Ruta 2	B	159,43	37306,08	37465,50	10,41	118,00	131,28	97,87	144,55	4,40
Ruta 3	A	159,91	19188,38	19348,29	5,38	61,00	70,54	94,07	74,65	3,96
Ruta 4	A	127,56	18113,08	18240,64	5,07	72,00	65,99	94,80	70,38	3,70
Total					30,77		394,14			
ESC3										
Ruta 1	B	169,64	35537,90	35707,54	9,92	103,98	126,33	96,93	137,76	4,24
Ruta 2	A	94,34	14774,66	14869,00	4,13	77,98	53,56	95,20	57,37	3,00
Ruta 3	A	98,42	16615,33	16713,76	4,64	83,98	59,96	95,60	64,48	3,36
Ruta 4	A	125,43	25005,40	25130,84	6,98	99,00	89,22	96,60	96,96	5,00
Total					25,67		329,07			
ESC4										
Ruta 1	A	100,10	12207,93	12308,02	3,42	61,98	44,84	94,13	47,49	2,51
Ruta 2	A	108,75	18701,18	18809,93	5,23	86,98	67,34	95,80	72,57	3,77
Ruta 3	A	95,94	14582,78	14678,72	4,08	77,00	52,92	95,13	56,63	2,96
Ruta 4	A	137,77	24521,51	24659,28	6,85	90,00	88,09	96,00	95,14	4,94
Ruta 5	A	117,90	20985,29	21103,19	5,87	90,00	75,39	96,00	81,42	4,22
Total					25,43		328,57			

Tabla 8. Resultados obtenidos tras el cálculo.

A continuación se va a realizar una serie de análisis de los valores obtenidos tras el cálculo con el programa de Automóviles Eléctricos y el cálculo del valor promedio:

1. Antes de comentar la figura 23, hay que destacar que el peso de batería de la tabla 8 es el peso de batería necesario para realizar cada ruta y no el peso de batería instalada en el vehículo.

Peso de batería necesaria por escenario



Figura 23. Peso de batería necesaria por escenario.

Energía consumida por escenario



Figura 24. Energía consumida por escenario.

Si se observan las figuras 23 y 24, se puede apreciar que tanto los valores de la energía consumida como los de peso de batería necesaria son inferiores en los escenarios 3 y 4. Esto es debido a que los vehículos de tipo A consumen menos energía que los vehículos de tipo B y, por tanto, requieren de menos peso de batería.

$$\frac{P_1}{P_4} = \frac{398,25 \text{ kg}}{328,57 \text{ kg}} = 1,21$$

$$\frac{E_1}{E_4} = \frac{31,51 \text{ kWh}}{25,43 \text{ kWh}} = 1,24$$

Contemplando más en detalle los valores, se observa que el peso de batería necesaria en el escenario 4 disminuye un 21% comparado con el escenario 1 y la energía consumida en el escenario 4 disminuye un 24% comparado con el escenario 1. Por tanto, un descenso del peso de la batería necesaria implica un descenso de energía consumida mayor.

2. Con los valores de peso de batería necesaria comprobamos que la batería funciona correctamente a través de un coeficiente de seguridad:

$$C_{s \text{ capacidad}} = \frac{P_{\text{Batería instalada}}}{P_{\text{Batería necesaria}}} > 1$$

	Tipo de vehículo	B (kg)	Peso de batería (kg)	Cs capacidad
ESC1				
Ruta 1	B	250	126,33	1,98
Ruta 2	B	250	131,28	1,90
Ruta 3	B	250	140,64	1,78
ESC2				
Ruta 1	B	250	126,33	1,98
Ruta 2	B	250	131,28	1,90
Ruta 3	A	200	70,54	2,84
Ruta 4	A	200	65,99	3,03
ECS3				
Ruta 1	B	250	126,33	1,98
Ruta 2	A	200	53,56	3,73
Ruta 3	A	200	59,96	3,34
Ruta 4	A	200	89,22	2,24
ESC4				
Ruta 1	A	200	44,84	4,46
Ruta 2	A	200	67,34	2,97
Ruta 3	A	200	52,92	3,78
Ruta 4	A	200	88,09	2,27
Ruta 5	A	200	75,39	2,65

Tabla 9. Coeficientes de seguridad del peso de batería.

En todos los casos el coeficiente de seguridad es mayor que uno, así que la batería funciona correctamente, sin llegar al límite de su capacidad.

- Analizando los resultados obtenidos en el cálculo en cuanto a peso de batería necesaria para realizar un recorrido, se observa, tanto para el vehículo A como para el vehículo B, que el peso de batería necesario para una distancia determinada (D) es mayor que la que el fabricante ofrece.

Por ejemplo:

El fabricante nos facilita la siguiente información:

$$D_{A_F} = 220 \text{ km} \rightarrow B_{A_F} = 200 \text{ kg}$$

$$D_{B_F} = 200 \text{ km} \rightarrow B_{B_F} = 250 \text{ kg}$$

Datos que se han obtenido con el cálculo del programa:

$$D_{A_C} = 64 \text{ km} \rightarrow B_{A_C} = 88,09 \text{ kg (Escenario 4, Ruta 4)}$$

$$D_{B_C} = 63 \text{ km} \rightarrow B_{B_C} = 126,33 \text{ kg (Escenario 1, Ruta 1)}$$

Si se extrapola el valor de la distancia al valor ofrecido por el fabricante, se obtiene un peso de batería superior al dado en la ficha técnica del vehículo.

$$\text{Si } D_{A_C} = 220 \text{ km} \rightarrow B_{A_C} = \frac{220 \text{ km} \cdot 88,09 \text{ kg}}{64 \text{ km}} = 302,81 \text{ kg} > B_{A_F} = 200 \text{ kg}$$

$$\text{Si } D_{B_C} = 200 \text{ km} \rightarrow B_{B_C} = \frac{200 \text{ km} \cdot 126,33 \text{ kg}}{63 \text{ km}} = 401,05 \text{ kg} > B_{B_F} = 250 \text{ kg}$$

Como conclusión se obtienen dos hipótesis: El análisis de autonomía del fabricante lo hacen con el vehículo en vacío o lo hacen a velocidades muy bajas.

- El porcentaje del peso de la batería sobre el peso del vehículo se recomienda que sea inferior al 5%. Por tanto, se hace la comprobación tanto con los vehículos diesel como para los vehículos eléctricos:

Vehículo diesel:

Peso Total vehículo A = 2100 kg

Peso depósito vehículo A = 60 kg

$$\% \text{ Peso depósito vehículo A} = \frac{60 \text{ kg} \cdot 100\%}{2100 \text{ kg}} = 2,86 \% < 5\%$$

Peso Total vehículo B = 3500 kg

Peso depósito vehículo B = 100 kg

$$\% \text{ Peso depósito vehículo B} = \frac{100 \text{ kg} \cdot 100\%}{3500 \text{ kg}} = 2,86 \% < 5\%$$

Vehículo eléctrico:

Peso Total vehículo A = 2100 kg

Peso batería necesaria vehículo A: $B_{A_c} = 88,09 \text{ kg}$ (Escenario 4, Ruta 4)

$$\% \text{ Peso batería vehículo A} = \frac{88,09 \text{ kg} \cdot 100\%}{2100 \text{ kg}} = 4,19 \% < 5\%$$

Peso Total vehículo B = 3500 kg

Peso batería necesaria vehículo B: $B_{B_c} = 142,77 \text{ kg}$ (Escenario 1, Ruta 1)

$$\% \text{ Peso batería vehículo B} = \frac{142,77 \text{ kg} \cdot 100\%}{3500 \text{ kg}} = 4,08 \% < 5\%$$

Se demuestra que en todos los casos el peso del sistema de energía del vehículo es inferior al 5% del peso total del vehículo.

Volviendo a los resultados obtenidos tras el cálculo con el programa de Automóviles Eléctricos y el cálculo de los valores promedio, se expone un resumen de datos de consumo obtenidos en la tabla 10:

	Tipo de vehículo	Consumo específico (Wh/(t·km))	Consumo específico por ruta (kWh/(t·km))	Consumo específico por escenario (kWh/(t.km))
ESC1				
Ruta 1	B	52,81	0,05281	0,016914
Ruta 2	B	50,56	0,05056	
Ruta 3	B	50,00	0,049995	
ESC2				
Ruta 1	B	52,81	0,05281	0,014056
Ruta 2	B	50,56	0,05056	
Ruta 3	A	64,18	0,06418	
Ruta 4	A	57,94	0,057935	
ECS3				
Ruta 1	B	52,81	0,05281	0,013704
Ruta 2	A	52,49	0,05249	
Ruta 3	A	52,99	0,05299	
Ruta 4	A	58,38	0,058375	
ESC4				
Ruta 1	A	53,12	0,053115	0,011124
Ruta 2	A	55,17	0,05517	
Ruta 3	A	53,02	0,05302	
Ruta 4	A	60	0,06	
Ruta 5	A	56,59	0,05659	

Tabla 10. Valores de consumo obtenidos tras el cálculo.

A continuación, se muestra un gráfico que compara los valores de consumo específico por escenario.



Figura 25. Consumo específico por escenario.

El caso más rentable en cuanto a consumo es el escenario 4, es decir, hacer el reparto con cinco vehículos de tipo A, porque la energía necesaria para mover la carga total de todos los vehículos es menor. Se ahorra un 34,2 % de energía consumida con respecto del peor caso que es el escenario 1.

5.3 Cálculo de la función de coste

Como se ha definido anteriormente en el apartado 4.5 la función de coste es la suma del coste de recursos humanos y el coste de recursos materiales.

5.3.1 Cálculo del coste de recursos humanos

Se ha realizado el cálculo del coste de recursos humanos aplicando las fórmulas expresadas en el apartado 4.5 y 4.5.1 y en la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos.

	Tipo de vehículo	Tiempo de conducción (h)	Número de paradas	Tiempo medio de parada (min)	Tiempo total de parada (h)	Tiempo total de operación (h)	Precio rrrh (€/h)	Coste rrrh (€)
ESC1								
Ruta 1	B	1,72	8	7,5	1	2,72	7,5	20,38
Ruta 2	B	1,95	8	7,5	1	2,95	7,5	22,13
Ruta 3	B	2,18	8	7,5	1	3,18	7,5	23,88
Total						8,85		66,38
ESC2								
Ruta 1	B	1,72	8	7,5	1	2,72	7,5	20,38
Ruta 2	B	1,95	8	7,5	1	2,95	7,5	22,13
Ruta 3	A	1,00	3	7,5	0,375	1,38	7,5	10,31
Ruta 4	A	1,18	4	7,5	0,5	1,68	7,5	12,63
Total						8,73		65,44
ECS3								
Ruta 1	B	1,72	8	7,5	1	2,72	7,5	20,38
Ruta 2	A	1,28	5	7,5	0,625	1,91	7,5	14,31
Ruta 3	A	1,38	5	7,5	0,625	2,01	7,5	15,06
Ruta 4	A	1,63	6	7,5	0,75	2,38	7,5	17,88
Total						9,02		67,63
ESC4								
Ruta 1	A	1,02	5	7,5	0,625	1,64	7,5	12,31
Ruta 2	A	1,43	5	7,5	0,625	2,06	7,5	15,44
Ruta 3	A	1,27	5	7,5	0,625	1,89	7,5	14,19
Ruta 4	A	1,48	5	7,5	0,625	2,11	7,5	15,81
Ruta 5	A	1,48	4	7,5	0,5	1,98	7,5	14,88
Total						9,68		72,63

Tabla 11. Cálculo de coste de recursos humanos.

5.3.2 Cálculo del coste de recursos materiales

Para el cálculo del coste de recursos materiales se presentan en cuatro métodos diferentes:

Método 1 □: La tarifa mínima de 5 horas + kilometraje adicional a los 50 km para vehículos diesel. Esta tarifa corresponde a lo que cobran las empresas en la actualidad para alquileres inferiores a 5 horas. Por un lado, se cobra un precio establecido para 5 horas de alquiler, aunque el alquiler corresponda a menos horas, y por otro lado, se cobra el kilometraje que supera a los 50 km, si es así.

Método 2 □: El alquiler por horas + kilometraje para vehículos diesel. En esta tarifa se cobra, por un lado, el coste del alquiler del vehículo que es el producto entre el precio por hora de alquiler (€/h de alquiler) y las horas totales de distribución (h); y por otro lado, el coste de kilometraje que se determina como el producto entre los kilómetros totales recorridos (km) y el precio por kilómetro (€/km). Existen pocas empresas que usan esta tarifa, ya que es una tarifa que está emergiendo en la actualidad.

Método 3 □: El alquiler por horas + kilometraje para vehículos eléctricos. En esta tarifa se cobra, por un lado, el coste del alquiler del vehículo que es el producto entre el precio por hora de alquiler (€/h de alquiler) y las horas totales de distribución (h); y por otro lado, el coste de consumo que se determina como el producto entre los kilómetros totales recorridos (km) y el precio por kilómetro (€/km). Esta es una tarifa propuesta, que todavía no existe, pero con los precios más reducidos. Uno, porque en un futuro existirá más competencia en el mercado en cuanto a este tipo de tarificación, y dos, porque el consume del vehículo eléctrico tiene un precio menor que el diesel.

Método 4 □: El alquiler por horas + consumo para vehículos eléctricos. En esta tarifa se cobra, por un lado, el coste del alquiler del vehículo que es el producto entre el precio por hora de alquiler (€/h de alquiler) y las horas totales de distribución (h); y por otro lado, el coste de consumo que se determina como la suma del término de potencia y el término de energía. El término de potencia depende de la potencia contratada y el término de energía es el producto entre los kilovatios hora consumidos (kWh) y el precio por kilovatio hora (€/kWh).

Para el cálculo del coste de consumo se ha buscado información de las principales compañías eléctricas, la cual viene representada en la tabla 12:

Empresa	Contrato	Término Potencia (€/kW)	Término Energía (€/kWh)	
			Punta	Valle
Endesa	2.1 DHA (15 kW)	0,132438	0,178909	0,099822
Iberdrola		0,135704	0,166602	0,102421
Naturgy		0,128616	0,189584	0,111816
Verano			13:00-23:00	23:00-13:00
Invierno			12:00-22:00	22:00-12:00

Tabla 12. Tarificación eléctrica de las principales compañías de España.

Para los cálculos del método 4, se ha seleccionado la tarifa que ofrece Endesa, porque es la que ofrece un precio menor en el periodo de facturación de horas valle, ya que las baterías de los vehículos se recargarán por la noche.

A continuación, en las tablas 13 y 14 se muestran los datos de los costes de los recursos materiales:

		Método 1: Tarifa mínima de 5 horas + kilometraje adicional a 50 km para vehículos diesel.				Método 2: Alquiler por horas + kilometraje para vehículos diesel.				
	Tipo de vehículo	Alquiler (€)	Precio km adicional (€/km)	Coste km adicionales a 50 km (€)	Alquiler + coste km adicionales a 50 km (€)	Precio hora (€/h)	Alquiler (€)	Precio km (€/km)	Coste km (€)	Alquiler + coste km (€)
Esc 1										
Ruta 1	B	29	0,44	5,72	34,72	8,40	22,82	0,29	18,27	41,09
Ruta 2	B	29	0,44	8,36	37,36	8,40	24,78	0,29	20,01	44,79
Ruta 3	B	29	0,44	11,00	40	8,40	26,74	0,29	21,75	48,49
Total		87		25,08	112,08		74,34		60,03	134,37
Esc 2										
Ruta 1	B	29	0,44	5,72	34,72	8,40	22,82	0,29	18,27	41,09
Ruta 2	B	29	0,44	8,36	37,36	8,40	24,78	0,29	20,01	44,79
Ruta 3	A	26	0,35	0	26	6,50	8,94	0,23	10,81	19,75
Ruta 4	A	26	0,35	0	26	6,50	10,94	0,23	11,27	22,21
Total		110		14,08	124,08		67,48		60,36	127,84
ECS3										
Ruta 1	B	29	0,44	5,72	34,72	8,40	22,82	0,29	18,27	41,09
Ruta 2	A	26	0,35	0	26	6,50	12,40	0,23	10,12	22,52
Ruta 3	A	26	0,35	0	26	6,50	13,05	0,23	11,27	24,32
Ruta 4	A	26	0,35	5,95	31,95	6,50	15,49	0,23	15,41	30,90
Total		107		11,67	118,67		63,77		55,07	118,84
ESC4										
Ruta 1	A	26	0,35	0	26	6,50	10,67	0,23	8,28	18,95
Ruta 2	A	26	0,35	1,05	27,05	6,50	13,38	0,23	12,19	25,57
Ruta 3	A	26	0,35	0	26	6,50	12,30	0,23	9,89	22,19
Ruta 4	A	26	0,35	4,90	30,9	6,50	13,70	0,23	14,72	28,42
Ruta 5	A	26	0,35	2,80	28,8	6,50	12,89	0,23	13,34	26,23
Total		130		8,75	138,75		62,94		58,42	121,36

Tabla 13. Cálculo de coste de recursos materiales métodos 1 y 2.

Método 3: Alquiler por horas + kilometraje para vehículos eléctricos.					Método 4: Alquiler por horas + consumo para vehículos eléctricos.									
Precio hora (€/h)	Alquiler (€)	Precio km (€/km)	Coste km (€)	Alquiler + coste km (€)	Precio hora (€/h)	Alquiler (€)	Potencia contratada (kW)	Precio término de potencia (€/kW)	Coste término potencia (€)	Energía consumida (kWh)	Precio término de energía (€/kWh)	Coste término energía (€)	Coste consumo (€)	Alquiler + coste consumo (€)
4	10,87	0,04	2,52	13,39	4	10,87	15	0,132438	0,66	9,92	0,099822	0,99	1,65	12,52
4	11,80	0,04	2,76	14,56	4	11,80	15	0,132438	0,66	10,405	0,099822	1,04	1,70	13,50
4	12,73	0,04	3,00	15,73	4	12,73	15	0,132438	0,66	11,185	0,099822	1,12	1,78	14,51
	35,40		8,28	43,68		35,40			1,99			3,15	5,13	40,53
4	10,87	0,04	2,52	13,39	4	10,87	15	0,132438	0,50	9,92	0,099822	0,99	1,49	12,35
4	11,80	0,04	2,76	14,56	4	11,80	15	0,132438	0,50	10,405	0,099822	1,04	1,54	13,34
2,5	3,44	0,02	0,94	4,38	2,5	3,44	15	0,132438	0,50	5,375	0,099822	0,54	1,03	4,47
2,5	4,21	0,02	0,98	5,19	2,5	4,21	15	0,132438	0,50	5,065	0,099822	0,51	1,00	5,21
	30,31		7,20	37,51		30,31			1,99			3,07	5,06	35,37
4	10,87	0,04	2,52	13,39	4	10,87	15	0,132438	0,50	9,92	0,099822	0,99	1,49	12,35
2,5	4,77	0,02	0,88	5,65	2,5	4,77	15	0,132438	0,50	4,13	0,099822	0,41	0,91	5,68
2,5	5,02	0,02	0,98	6,00	2,5	5,02	15	0,132438	0,50	4,64	0,099822	0,46	0,96	5,98
2,5	5,96	0,02	1,34	7,30	2,5	5,96	15	0,132438	0,50	6,98	0,099822	0,70	1,19	7,15
	26,62		5,72	32,34		26,62			1,99			2,56	4,55	31,17
2,5	4,10	0,02	0,72	4,82	2,5	4,10	15	0,132438	0,40	3,42	0,099822	0,34	0,74	4,84
2,5	5,15	0,02	1,06	6,21	2,5	5,15	15	0,132438	0,40	5,23	0,099822	0,52	0,92	6,06
2,5	4,73	0,02	0,86	5,59	2,5	4,73	15	0,132438	0,40	4,08	0,099822	0,41	0,80	5,53
2,5	5,27	0,02	1,28	6,55	2,5	5,27	15	0,132438	0,40	6,85	0,099822	0,68	1,08	6,35
2,5	4,96	0,02	1,16	6,12	2,5	4,96	15	0,132438	0,40	5,87	0,099822	0,59	0,98	5,94
	24,21		5,08	29,29		24,21			1,99			2,54	4,53	28,73

Tabla 14. Cálculo de coste de recursos materiales métodos 3 y 4.

5.4 Análisis de resultados y comparativa

Un vez calculados tanto los costes de recursos humanos como los costes de recursos materiales obtenemos la función de coste, que viene expresada en la tabla 15:

	$f_{coste_{rrhh}}$	$f_{coste_{r.m.1}}$	f_{coste}	$f_{coste_{r.m.2}}$	f_{coste}	$f_{coste_{r.m.3}}$	f_{coste}	$f_{coste_{r.m.4}}$	f_{coste}
Esc 1	66,38	112,08	178,46	134,37	200,75	43,68	110,06	40,53	106,91
Esc 2	65,44	124,08	189,52	127,84	193,28	37,51	102,95	35,37	100,81
Esc 3	67,63	118,67	186,30	118,84	186,47	32,34	99,97	31,17	98,80
Esc 4	72,63	138,75	211,38	121,36	193,99	29,29	101,92	28,73	101,36

Tabla 15. Cálculo de la función de coste.

Función de coste

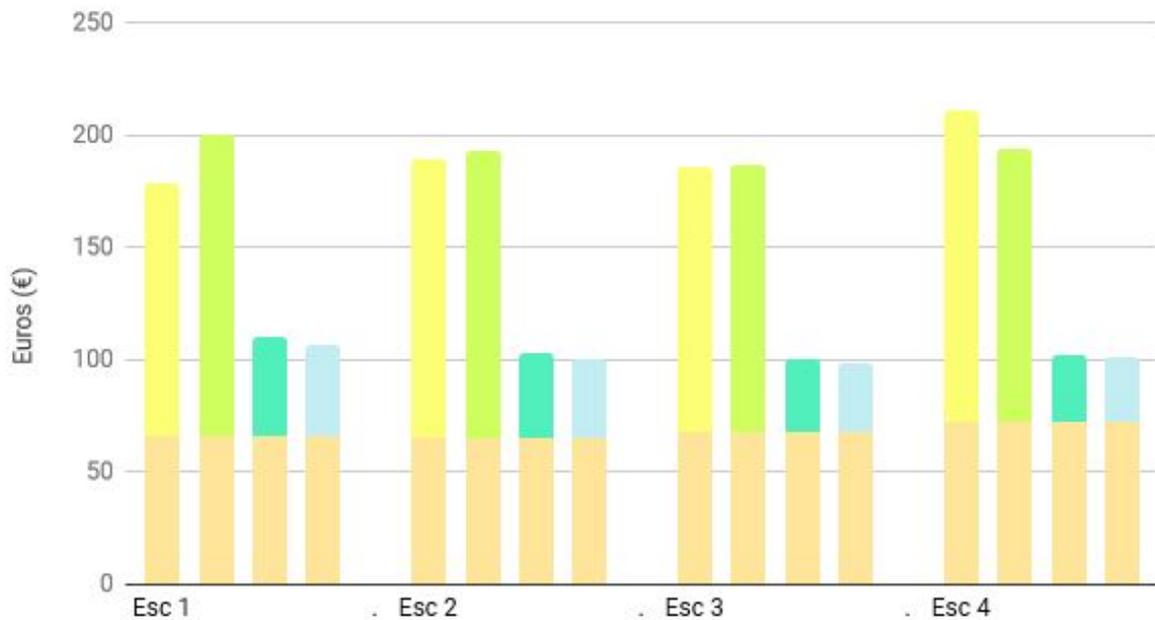


Figura 26. Función de coste con los diferentes métodos.

Observando los datos, se puede ver que la solución más óptima utilizando el método 1 es el escenario 1, es decir, realizar la operación de reparto con tres vehículos grandes. Esto es debido a que este método está establecido para el uso de vehículos diesel, ya que la tarifa de consumo es mucho más elevada que la de un vehículo eléctrico. Pero en una línea hacia el futuro, se observa que la solución más óptima económicamente es el escenario 3, con un vehículo grande y tres vehículos pequeños.

Se ha observado que tanto para la tarifa mínima de 5 horas (método 1) como para el alquiler por horas de vehículos diésel (método 2), la función de coste por recursos materiales tiene mayor peso en el resultado de la función de coste total. Y por contrario, se ha observado que tanto para el alquiler por horas de vehículos eléctricos a precio de mercado (método 3) como para el alquiler por horas a precio de coste (método 4), la función de coste por recursos humanos tiene mayor peso en el resultado de la función de coste total. Esto es debido al menor coste de la energía eléctrica consumida.

Función de coste RRHH

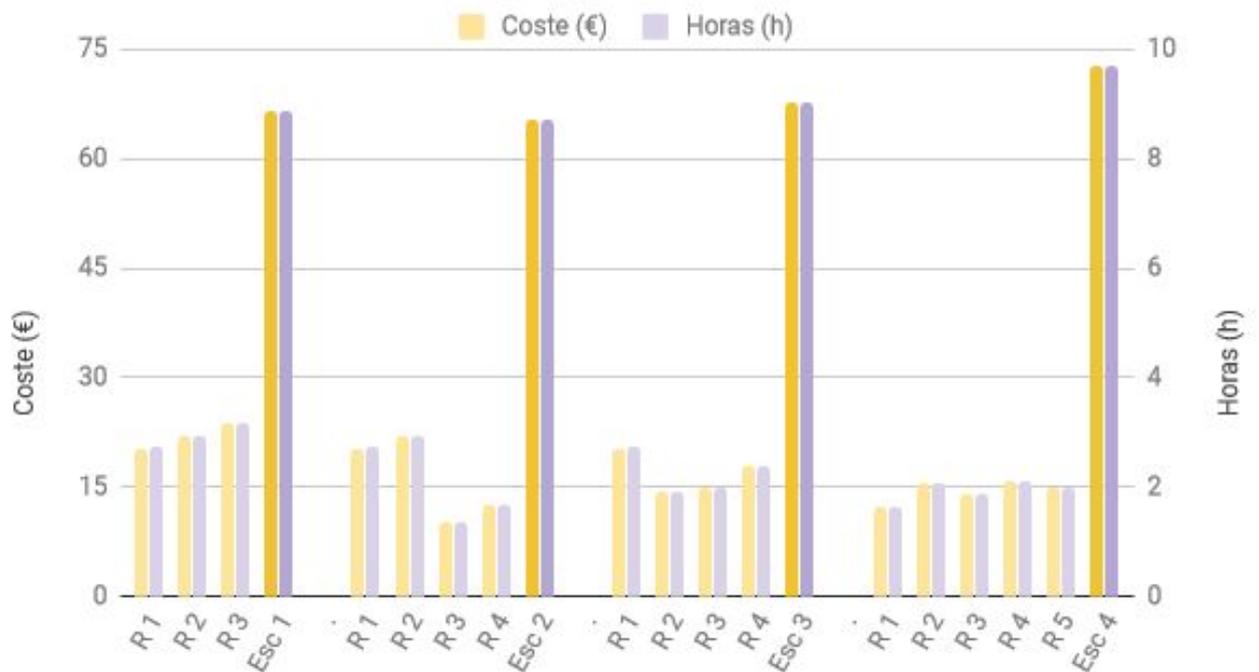


Figura 27. Función de coste de recursos humanos y horas empleadas.

Fijándonos en la función de coste por recursos humanos. Otra observación que se ha podido realizar es que el coste total por horas de conductor (□) de cada escenario no aumenta al aumentar el número de vehículos, sino que va directamente ligado a la horas totales (□) empleadas en cada escenario para realizar la operación de distribución, como ha sucedido entre los escenarios 1 y 2. En el escenario 2 se ha empleado un vehículo más que en el escenario 1, sin embargo el tiempo total empleado en la operación de reparto es inferior.

Notar que, si sólo se tuviera en cuenta la función de coste de recursos humanos, la solución más óptima económicamente es el escenario 2, es decir, emplear a cuatros conductores con dos vehículos de tipo A y dos vehículos de tipo B.

En cuanto a la función de coste por recursos materiales, se ha observado que:

Función de coste de recursos materiales (método 1)

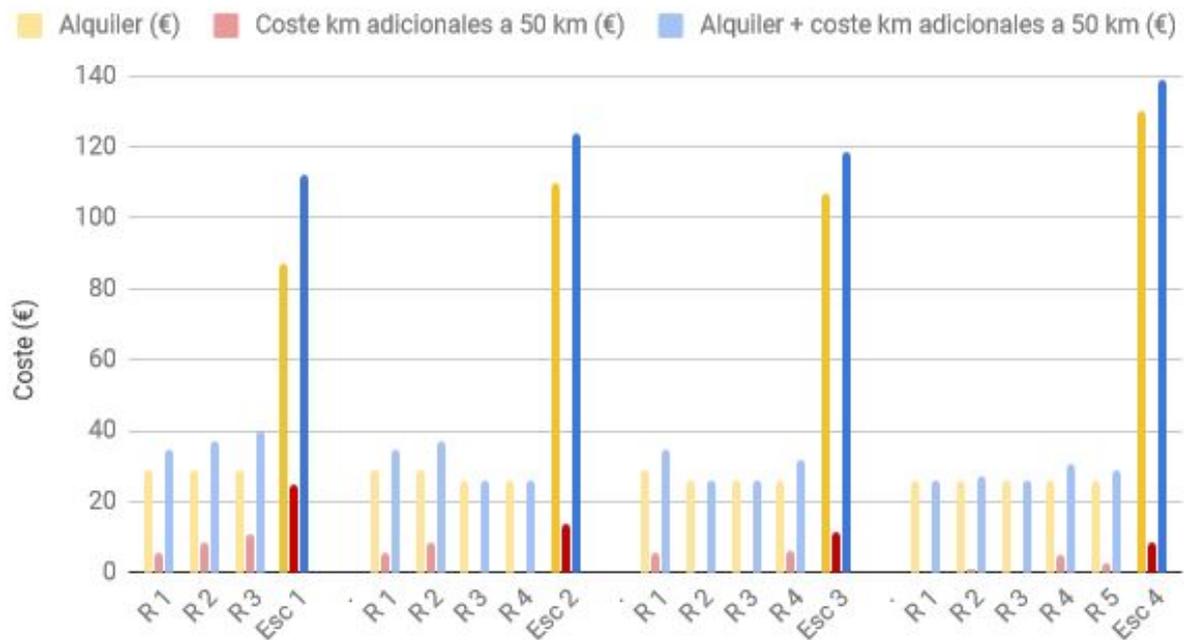


Figura 28. Función de coste de recursos materiales (método 1).

1. En el método 1, el coste total por alquiler (□) de cada escenario no va aumentando de forma progresiva con el número de vehículos debido a la diferencia de precio entre los dos vehículos tipo. Sin embargo, el coste total por kilometraje adicional a los 50 km (□) de cada escenario disminuye de forma progresiva con el número de vehículos. Esto es debido a que cuando hay más vehículos hacen menos kilómetros cada uno. El coste por kilometraje adicional también está influenciado por el precio de km según el tipo de vehículo.

Si solo se tuviera en cuenta la parte de coste de recursos materiales, en el método 1, la opción más óptima económicamente es el escenario 1, es decir, usar tres vehículos grandes.

Función de coste de recursos materiales (método 2)

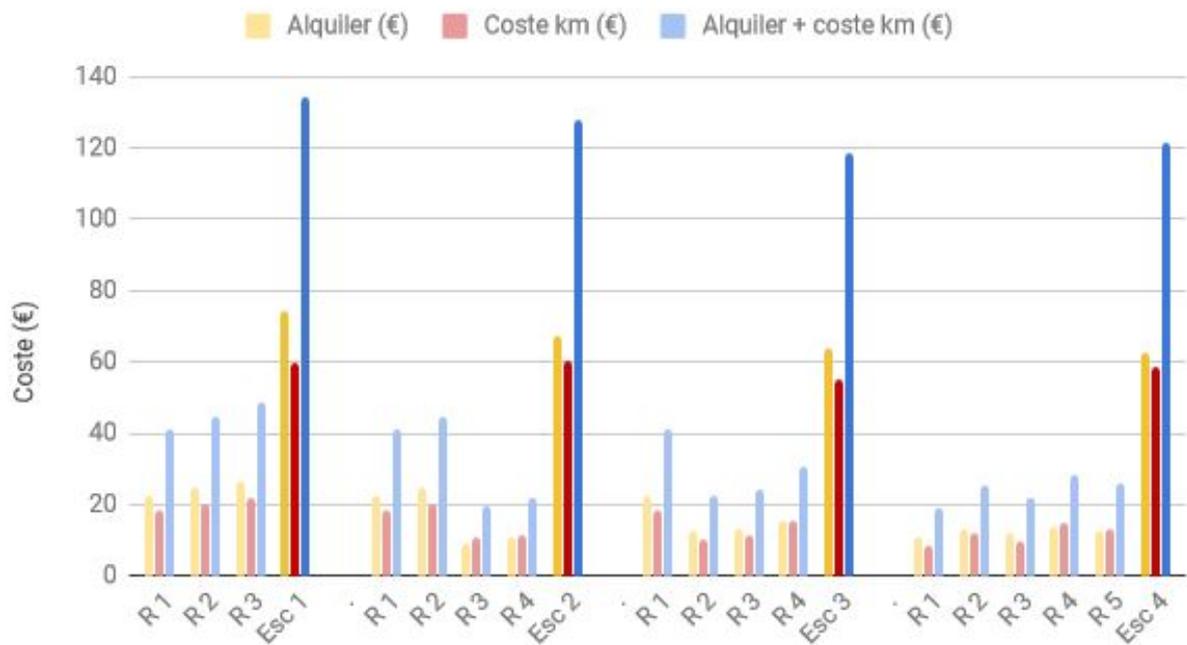


Figura 29. Función de coste de recursos materiales (método 2).

- En el método 2, el coste total referido al alquiler (\square) de cada escenario va disminuyendo de forma progresiva con el aumento de número de vehículos debido a que el coste de alquiler de los vehículos pequeños tienen una diferencia de precio considerable con los vehículos grandes. Se puede observar también que el coste por alquiler de dos vehículos pequeños (\square) es aproximadamente el de uno grande. Sin embargo, el coste total por kilometraje (\square) de cada escenario permanece prácticamente constante entorno a un valor. Esto es debido a que el precio por km es un valor muy bajo y hay poca diferencia entre los precios por km de los diferentes vehículos tipo.

Si solo se tuviera en cuenta la parte de coste de recursos materiales, en el método 2, la opción más óptima económicamente es el escenario 3, es decir, usar un vehículo grande y tres pequeños.

Función de coste de recursos materiales (método 3)

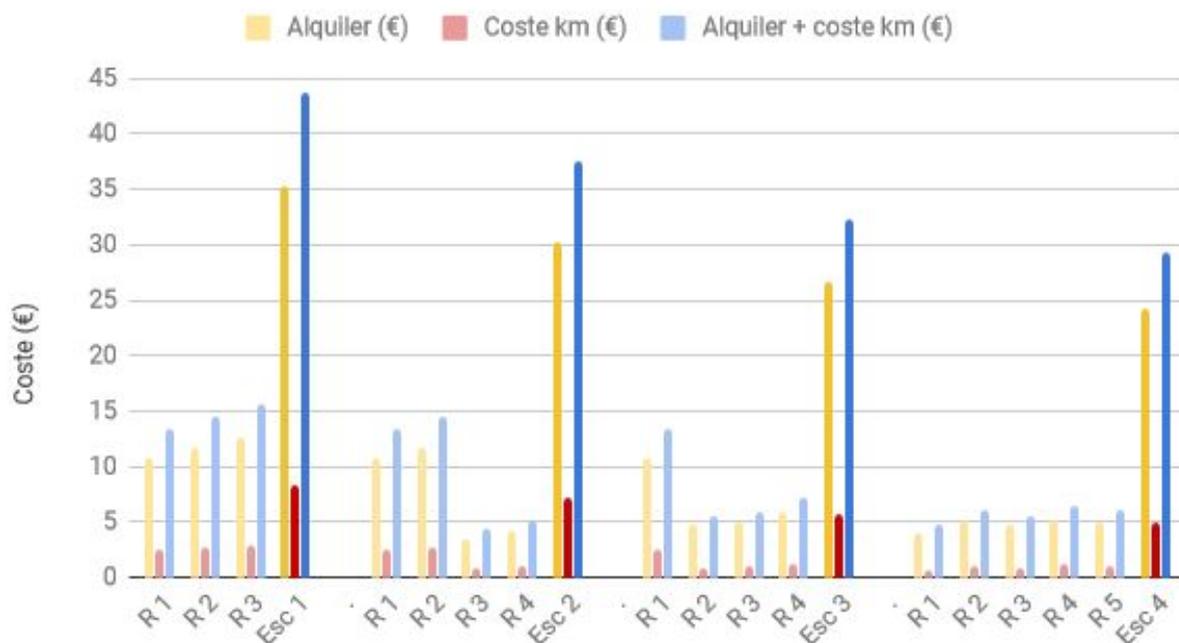


Figura 30. Función de coste de recursos materiales (método 3).

- En el método 3, el coste total por alquiler (□) disminuye de forma progresiva en cada escenario, porque está fuertemente condicionado por el tipo de vehículo usado. Se puede apreciar que el coste de alquiler (□) de un vehículo pequeño es aproximadamente la mitad del coste de alquiler de un vehículo grande. El coste total por kilometraje (□) de cada escenario también disminuye de forma progresiva, igualmente debido al tipo de vehículo usado. El coste por kilometraje (□) de un vehículo pequeño es aproximadamente casi la mitad del coste por kilometraje de uno grande.

Si solo se tuviera en cuenta la parte de coste de recursos materiales, en el método 3, la opción más óptima económicamente es el escenario 4, es decir, usar cinco vehículos pequeños.

Función de coste de recursos materiales (método 4)

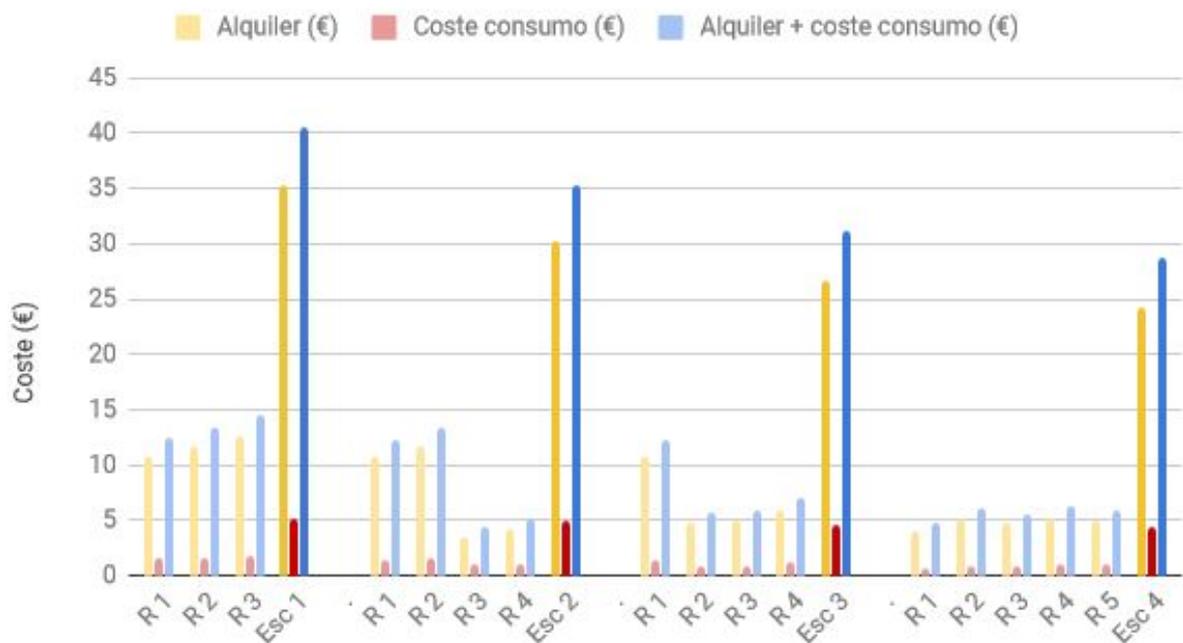


Figura 31. Función de coste de recursos materiales (método 4).

- El método 4 está fuertemente influenciado por el coste del alquiler (□) debido a que el coste por consumo (□) tiene un valor muy bajo y, además, varía muy poco entre las diferentes rutas. El coste total por alquiler (□) disminuye de forma progresiva en cada escenario, porque está fuertemente condicionado por el tipo de vehículo usado. Se puede apreciar que el coste de alquiler (□) de un vehículo pequeño es aproximadamente la mitad del coste de alquiler de un vehículo grande.

Si solo se tuviera en cuenta la parte de coste de recursos materiales, en el método 4, la opción más óptima económicamente es el escenario 4, es decir, usar cinco vehículos pequeños.

Función de coste de consumo

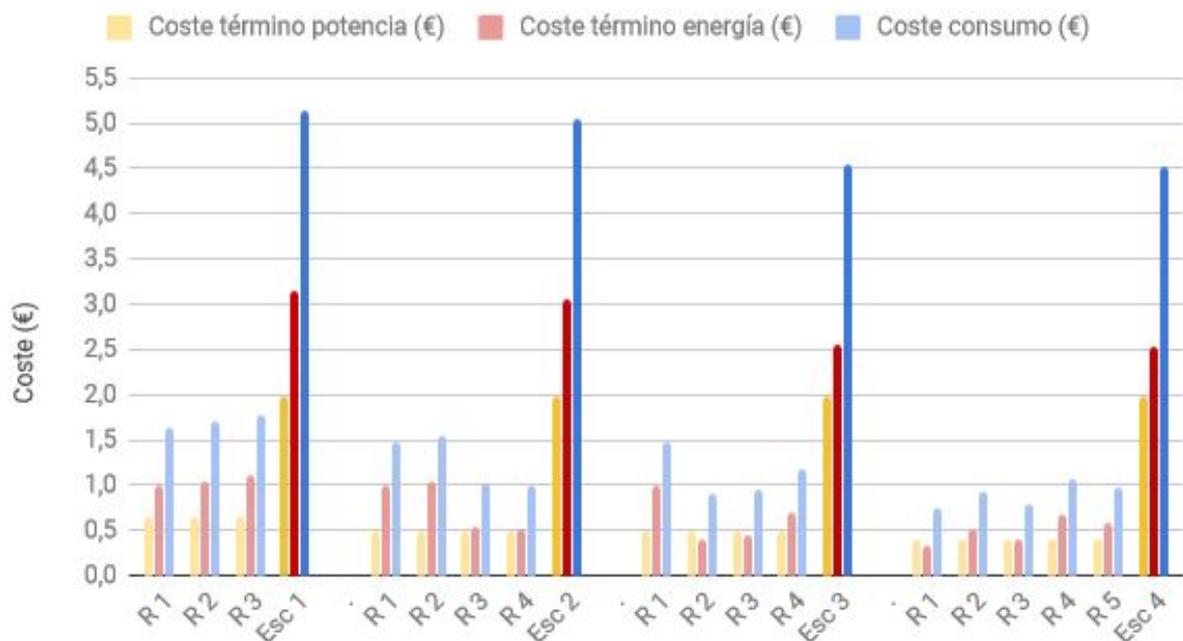


Figura 32. Función de coste de consumo.

Centrándonos en la parte de coste de consumo del método 4, se observa que el coste total del término de potencia (□) de cada escenario es el mismo, ya que no depende de los vehículos usados, sino de la potencia contratada. También se observa que el coste total del término de energía (□) de cada escenario disminuye progresivamente debido a que se consume menos energía con los vehículos pequeños.

6. Conclusiones

La primera conclusión que se puede sacar de este trabajo es que se ha observado la dependencia que existe de las condiciones del problema (número de puntos de reparto, demanda, vehículos tipo disponibles y rutas posibles) para determinar las prestaciones óptimas de un vehículo de reparto urbano con tracción eléctrica.

Se ha demostrado la influencia que tienen las características del vehículo (peso del vehículo, carga útil, volumen de carga, peso y capacidad de la batería) en las operaciones de distribución. Estas variables son determinantes a la hora de seleccionar el vehículo más óptimo.

Con este trabajo se ha puesto en manifiesto la necesidad de tener en cuenta el conjunto de vehículos que forman la flota para una operación de distribución determinada, es decir, no basta con seleccionar un único vehículo, sino que hay que comparar el conjunto de vehículos disponibles.

Analizando los cuatro métodos del cálculo del coste de recursos materiales, se ha observado que hay una gran diferencia entre los vehículos diesel y los vehículos eléctricos. Por lo que, se debería establecer una tarifa de alquiler para vehículos eléctricos que tenga en cuenta el consumo de acuerdo a los costes de energía consumida.

En el caso de que en el futuro se opte por el uso de vehículos autónomos, la parte de coste por recursos humanos desaparece totalmente, cambiando los resultados. Si eso fuera así, la configuración más óptima de este estudio sería el escenario 4 con cinco vehículos pequeños debido a que su consumo inferior a pesar de haber más vehículos que en los otros tres escenarios.

7. Futura continuación del proyecto

Para este proyecto existen tres líneas de continuidad:

1. Se pueden analizar otras opciones que sean mejores para el sistema de energía del vehículo (tanto para el almacenamiento como para la recarga), como por ejemplo el uso de baterías con mayor capacidad o sistemas de recarga intermedia.
2. Se puede explorar o analizar otras tipologías de vehículos como alternativa (por ejemplo, camiones).
3. Se pueden analizar más tipologías de rutas (pueden ser ruta más largas o rutas más pequeñas, etc.), ya que tienen una gran influencia sobre la determinación del resultado es este trabajo.

8. Fuentes de información

Las fuentes de información utilizadas para la realización de proyecto son las siguientes:

[1] <http://www.lamoncloa.gob.es>

[2] <http://www.lccte.gob.es>

[3] <http://www.congreso.es>

[4] <https://www.google.com/maps>

[5] <https://www.renault.es>

- [6] <https://www.nissan.es>
- [7] <https://www.peugeot.es>
- [8] <https://www.citroen.es>
- [9] <https://myldv.co.uk>
- [10] <https://www.mercedes-benz.es>
- [11] <https://www.volkswagen.es>
- [12] <https://www.ford.es>
- [13] <https://www.opel.es>
- [14] <https://www.fiat.es>
- [15] <http://www.hyundai.com>
- [16] <https://www.sixt.com>
- [17] <https://bluemove.es>
- [18] <https://www.endesaclientes.com>
- [19] <https://www.iberdrola.es>
- [20] <https://www.naturgy.es>

Anexo I. Tablas de características de furgones diesel.

 RENAULT		
Marca	Renault	
Modelo	Kangoo Furgón	
Tipo de motor	Diesel	
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.275 kg	
Masa máxima Autorizada (MMA)	1.785 kg	
Capacidad de carga (MMA-POM)	500 kg	
Volumen	2,3 m3	

Tabla A.1.1. Características y prestaciones del furgón Renault Kangoo.

 RENAULT		
Marca	Renault	
Modelo	TRAFIC FURGÓN	
Tipo de motor	Diesel	
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.725 kg	
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.800 kg	
Capacidad de carga (MMA-POM)	1075 kg	
Volumen	5,2 m3	

Tabla A.1.2. Características y prestaciones del furgón Renault Trafic.

 RENAULT		
Marca	Renault	
Modelo	MASTER	
Tipo de motor	Diesel	
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.893 kg	
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.800 kg	
Capacidad de carga (MMA-POM)	953 kg	
Volumen	8- 17 m3	

Tabla A.1.3. Características y prestaciones del furgón Renault Master.

		
Marca	NISSAN	
Modelo	NV200 (VISIA / ACENTA-TEKNA / ACENTA-TEKNA)	
Tipo de motor	Diesel	
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.272 kg / 1.272 kg / 1.286 kg	
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.000 kg / 2.000 kg / 2.000 kg	
Capacidad de carga (MMA-POM)	728 kg / 728 kg / 714 kg	
Volumen	4,2 m3	

Tabla A.1.4. Características y prestaciones del furgón Nissan NV200.

 	
Marca	NISSAN
Modelo	NV300 (L1 H1)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.699-1.743 kg / 1.699-1.743 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.780-2.820 kg / 2.940-2.980 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.075-1.081 kg / 1.235-1.243 kg
Volumen	5,2 m3

Tabla A.1.5. Características y prestaciones del furgón Nissan NV300.

 	
Marca	NISSAN
Modelo	NV400 (L1 H1)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.852 kg / 1.866 kg / 1.862-1.871 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.800 kg / 3.300 kg / 3.500 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	948 kg / 1.434 kg / 1.638-1.629 kg
Volumen	8 m3

Tabla A.1.6. Características y prestaciones del furgón Nissan NV400.

 	
Marca	Peugeot
Modelo	Partner (L1 / L2)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.335 kg / 1.210-1.110 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	1.960 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	625 kg / 750-850 kg
Volumen	3,3 m3 / 3,7 m3

Tabla A.1.7. Características y prestaciones del furgón Peugeot Partner.

 	
Marca	Peugeot
Modelo	Expert (Compact / Standard)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.461-1.861 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.861 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.000-1.4000 kg
Volumen	4,6 m3 / 5,3 m3

Tabla A.1.8. Características y prestaciones del furgón Peugeot Expert.

 PEUGEOT		
Marca	Peugeot	
Modelo	Boxer (L1 H1 / L1 H2)	
Tipo de motor	Diesel	
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.900 kg / 1.900 kg	
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.300 kg / 3.500 kg	
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.530 kg / 1.620 kg	
Volumen	8 m3 / 9,5 m3	

Tabla A.1.9. Características y prestaciones del furgón Peugeot Boxer.

 CITROËN		
Marca	CITROËN	
Modelo	NEMO FURGÓN HDi 80	
Tipo de motor	Diesel	
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.165 kg	
Masa máxima Autorizada (MMA)	1.750 kg	
Capacidad de carga (MMA-POM)	585 kg	
Volumen	2,5-2,8 m3	

Tabla A.1.10. Características y prestaciones del furgón Citroën Nemo.

 	
Marca	CITROËN
Modelo	BERLINGO FURGÓN BlueHDi L1
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.309-1.331-1.354 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	1.960-2.185-2.205 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	651-854-851 kg
Volumen	3,3 m3

Tabla A.1.11. Características y prestaciones del furgón Citroën Berlingo.

 	
Marca	CITROËN
Modelo	JUMPY FURGÓN BlueHDi 120S&S 6-speed manual 1.400 kg (XS / M / XL)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.602 kg / 1.613 kg / 1.654 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.100 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.498 kg / 1.487 kg / 1.446 kg
Volumen	5,1 m3 / 5,8 m3 / 6,6 m3

Tabla A.1.12. Características y prestaciones del furgón Citroën Jumpy.

		
Marca	CITROËN	
Modelo	JUMPER FURGÓN BlueHDi 110 6v 33/35 (L2 H2)	
Tipo de motor	Diesel	
Peso en Orden de Marcha (POM)	2.118 kg / 2.118 kg	
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.300 kg / 3.500 kg	
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.182 kg / 1.382 kg	
Volumen	11,5 m3	

Tabla A.1.13. Características y prestaciones del furgón Citroën Jumper.

		
Marca	LDV	
Modelo	V 80 High Roof LWB	
Tipo de motor	Diesel	
Peso en Orden de Marcha (POM)	2.111 kg	
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.500 kg	
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.389 kg	
Volumen	11,6 m3	

Tabla A.1.14. Características y prestaciones del furgón LDV V80.



Mercedes-Benz



Marca	Mercedes-Benz
Modelo	Citan Furgón (Compacta / Larga)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.350 kg / 1.320-1.375 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	1.810 kg / 1.810-2.100 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	460 kg / 465-745 kg
Volumen	2,4 m ³ / 3,1 m ³

Tabla A.1.15. Características y prestaciones del furgón Mercedes-Benz Citan.



Mercedes-Benz



Marca	Mercedes-Benz
Modelo	Vito (Compacta / Larga)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.756-1.871 1.756-1.871 1.826-1.881 kg / 1.781-1.896 1.781-1.896 1.851-1.906 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.800-3.050-3.200 kg / 2.800-3.050-3.200 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	929-1.044 1.179-1.294 1.319-1.374 kg / 904-1.019 1.154-1.269 1.294-1.349 kg
Volumen	5,5 m ³ / 6 m ³

Tabla A.1.16. Características y prestaciones del furgón Mercedes-Benz Vito.



Mercedes-Benz



Marca	Mercedes-Benz
Modelo	Sprinter (Estándar / Larga) Techo alto
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	2.060-2.185 2.075-2.205 2.370 2.370-2.400 kg / 2.230-2.360 2.530 2.530-2.565 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.000-3.500-4.600-5.000 kg / 3.500-4.600-5.000 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	815-840 1.295-1.425 2.230 2.600-2.630 kg / 1.140-1.270 2.070 2.435-2.470 kg
Volumen	10,5 m ³ / 14 m ³

Tabla A.1.17. Características y prestaciones del furgón Mercedes-Benz Sprinter.



Volkswagen



Marca	Volkswagen
Modelo	Caddy Furgón (según motor)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.365 kg / 1.379 kg / 1.381 kg / 1.415 kg / 1.489 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.127 kg / 2.141 kg / 2.000 kg / 2.177 kg / 2.251 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	762 kg / 762 kg / 619 kg / 762 kg / 762 kg
Volumen	3,2 m ³

Tabla A.1.18. Características y prestaciones del furgón Volkswagen Caddy.

 <p>Volkswagen</p>		
Marca	Volkswagen	
Modelo	Transporter con batalla corta y techo normal (según motor)	
Tipo de motor	Diesel	
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.755 kg / 1.755 kg / 1.785 kg / 1.811 kg / 1.907 kg	
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.800-3.000 kg / 2.800-3.000-3.200 kg / 2.800-3.000-3.200 kg / 2.800-3.000-3.200 kg / 2.800-3.000-3.200 kg	
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.245-728 kg / 1.445-728 kg / 1.415-698 kg / 1.389-672 kg / 1.293-576 kg	
Volumen	5,8 m ³	

Tabla A.1.19. Características y prestaciones del furgón Volkswagen Transporter.

 <p>Volkswagen</p>		
Marca	Volkswagen	
Modelo	Crafter (techo alto y batalla larga)	
Tipo de motor	Diesel	
Peso en Orden de Marcha (POM)		
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.500 kg	
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.301 kg	
Volumen	14,4 m ³	

Tabla A.1.20. Características y prestaciones del furgón Volkswagen Crafter.

 	
Marca	Ford
Modelo	Transit Courier
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.115-1.132-1.134 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	1.765-1.765-1.795 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	660 kg
Volumen	2,3 m3

Tabla A.1.21. Características y prestaciones del furgón Ford Transit Courier.

 	
Marca	Ford
Modelo	Transit Connect (L1 batalla corta / L2 batalla larga)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.441-1.418 kg / 1.451-1.428 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	1.999-1.999 kg / 2.215-2.220 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	564-587 kg / 764-792 kg
Volumen	2,93 m3 / 3,63 m3

Tabla A.1.22. Características y prestaciones del furgón Ford Transit Connect.

 	
Marca	Ford
Modelo	Transit Custom (L1 H1)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.767-1.953 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.540 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	646-714 kg
Volumen	6 m3

Tabla A.1.23. Características y prestaciones del furgón Ford Transit Custom.

 	
Marca	Ford
Modelo	Transit (L2 H2)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.971-2.073 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.140 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.067-1.169 kg
Volumen	10 m3

Tabla A.1.24. Características y prestaciones del furgón Ford Transit.

 	
Marca	Opel
Modelo	COMBO CARGO (L1 H1)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.240-1.450 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	1.990-2.430 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	750-1.000 kg
Volumen	3,4-3,8 m3

Tabla A.1.25. Características y prestaciones del furgón Opel Combo.

 	
Marca	Opel
Modelo	VIVARO FURGÓN (L1 H1)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.694 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.700 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.006 kg
Volumen	5,2 m3

Tabla A.1.26. Características y prestaciones del furgón Opel Vivaro.

 	
Marca	Opel
Modelo	MOVANO FURGÓN (L1 H1)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.927-1.937 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.800-3.500 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	873-1.563 kg
Volumen	8 m3

Tabla A.1.27. Características y prestaciones del furgón Opel Movano.

 	
Marca	FIAT
Modelo	Fiorino Furgón
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.070 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	1.680 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	535 kg (sin incluir conductor) / 610 kg (incluyendolo)
Volumen	2,5-2,8 m3

Tabla A.1.28. Características y prestaciones del furgón Fiat Fiorino.

 	
Marca	FIAT
Modelo	DOBLÒ CARGO Furgón
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.240 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	1.990 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	750 kg
Volumen	3,4-3,8 m3

Tabla A.1.29. Características y prestaciones del furgón Fiat Doblò.

 	
Marca	FIAT
Modelo	TALENTO Furgón (Batalla Corta / Batalla Larga)
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.861-1.711 kg / 1.692-1.686 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.935 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.074-1.224 kg / 1.243-1.249 kg
Volumen	5,2 m3 / 6 m3

Tabla A.1.30. Características y prestaciones del furgón Fiat Talento.

 	
Marca	FIAT
Modelo	DUCATO Furgón (Batalla 3.000 mm / 3.450 mm) Techo alto
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.925-1.945 kg / 2.350-2.010 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.500-4.005 kg / 3.500-4.005 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.575-2.060 kg / 1.150-1.995 kg
Volumen	9,5 m3 / 11,5 m3

Tabla A.1.31. Características y prestaciones del furgón Fiat Ducato.

 	
Marca	HYUNDAI
Modelo	H-1 VAN 2.5 CRDI 100, 1kW (136Cv) ESSENCE 3S
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.955 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.160 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.205 kg
Volumen	5,2 m3

Tabla A.1.32. Características y prestaciones del furgón Hyundai H-1.



Marca	HYUNDAI
Modelo	FURGÓN 2.5 CRDi 110,4kW (150CV) 5.5M ESSENCE
Tipo de motor	Diesel
Peso en Orden de Marcha (POM)	2.151 kg - 3.500 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.500 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.336 kg
Volumen	10,5 m3

Tabla A.1.33. Características y prestaciones del furgón Hyundai 2.5 CRDi 110.

Anexo II. Tablas de características de furgones eléctricos.



RENAULT



Marca	Renault
Modelo	Kangoo Furgón Z.E. (15" / Maxi 2 plazas)
Tipo de motor	Eléctrico
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.430 kg / 1.510 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.130 kg / 2.190 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	650 kg
Volumen	3-3,5 m3 / 4-4,6 m3
Autonomía (NEDC)	270 km (de 120 a 200 km en condiciones reales)
Batería	Z. E. 33
Tipo de batería	iones de litio
Capacidad batería	33 kWh
Potencia motor	44 kW (máxima a 12.000 rpm)
Par motor	226 Nm (máximo)
Peso batería	260 kg

Tabla A.2.1. Características y prestaciones del furgón Renault Kangoo Z.E.



RENAULT



Marca	Renault
Modelo	MASTER Z.E. (L1H1 / L1H2 / L2H2 / L3H2)
Tipo de motor	Eléctrico R75
Peso en Orden de Marcha (POM)	2.172 kg / - / - / 2.525 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.800-3.300-3.500 kg / 3.300-3.500 kg / 3.300-3.500 kg / 3.500 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.128 kg / 1.100 kg / 1.056 kg / 975 kg
Volumen	8 - 17 m3 (según tamaño)
Autonomía (NEDC)	200 km (120-130 km condiciones reales)
Batería	Z. E. 33
Tipo de batería	Iones de litio
Capacidad batería	33 KWh
Potencia motor	57 kW
Par motor	200 Nm
Peso batería	265 kg

Tabla A.2.2. Características y prestaciones del furgón Renault master Z.E.



Marca	NISSAN
Modelo	e-NV200 (ACENTA)
Tipo de motor	Eléctrico 80 kW AC
Peso en Orden de Marcha (POM)	1517 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2220 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	703 kg
Volumen	4,2 m3
Autonomía (NEDC)	275 km
Tipo de batería	Laminada de iones de litio
Capacidad batería	24 kWh
Potencia motor	80 kW
Par motor	254 Nm
Peso batería	220 kg

Tabla A.2.3. Características y prestaciones del furgón Nissan e-NV200.



Marca	Peugeot
Modelo	Partner Electric (L1)
Tipo de motor	Eléctrico
Tara	1.664 kg
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.600-1.589-1.530 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.225 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	625-636-695 kg
Volumen	3,3 m ³
Autonomía (NEDC)	170 km
Tipo de batería	Dos packs de iones de litio
Capacidad	22,5 kWh
Potencia (motor)	49 kW
Par	200 Nm
Peso batería	175 kg

Tabla A.2.4. Características y prestaciones del furgón Peugeot Partner Electric.



Marca	CITROËN
Modelo	BERLINGO ELECTRIC FURGÓN (L1)
Tipo de motor	Eléctrico
Peso en Orden de Marcha (POM)	1.605 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	2.225 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	620 kg
Volumen	3 m3
Autonomía (NEDC)	170 km
Tipo de batería	Ión litio
Capacidad	22,5 kWh
Potencia (motor)	49 kW
Par	200 Nm
Peso batería	175 kg

Tabla A.2.5. Características y prestaciones del furgón Citroën Berlingo.



Marca	LDV
Modelo	EV 80
Tipo de motor	Eléctrico
Tara	2.495 kg
Peso en Orden de Marcha (POM)	2.550 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.500 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	950 kg
Volumen	10,2 m3
Autonomía (NEDC)	200 km (145 km en condiciones reales)
Tipo de batería	Fosfato de hierro y litio
Capacidad	56 kWh
Potencia (motor)	100 kW
Par	320 Nm
Peso batería	328 kg

Tabla A.2.6. Características y prestaciones del furgón LDV EV 80.



Mercedes-Benz



Marca	Mercedes-Benz (2019)
Modelo	Vito E-cell
Tipo de motor	Eléctrico
Peso en Orden de Marcha (POM)	2.163 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.050 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	900 kg
Volumen	6,6 m ³
Autonomía (NEDC)	130 km (80 km en condiciones reales)
Tipo de batería	Ión Litio
Capacidad	36 kWh
Potencia (motor)	60 kW
Par	280 Nm
Peso batería	140 kg

Tabla A.2.7. Características y prestaciones del furgón Mercedes-Benz Vito E-cell.



Mercedes-Benz



Marca	Mercedes-Benz (2019)
Modelo	e-Sprinter
Tipo de motor	Eléctrico
Peso en Orden de Marcha (POM)	2.600 - 2.460 kg
Masa máxima Autorizada (MMA)	3.500 kg
Capacidad de carga (MMA-POM)	900 - 1.040 kg
Volumen	10,5 m ³
Autonomía (NEDC)	115 - 150 km
Tipo de batería	2 packs de baterías de ión litio
Capacidad	41 - 55 kWh
Potencia (motor)	84 kW
Par	300 Nm
Peso batería	250 kg

Tabla A.2.8. Características y prestaciones del furgón Mercedes-Benz e-Sprinter.

 Volkswagen		
Marca	Volkswagen (2020)	
Modelo	e-Crafter (medium wheelbase and high roof)	
Tipo de motor	Eléctrico	
Peso en Orden de Marcha (POM)	2.541 kg	
Masa máxima Autorizada (MMA)	4.250 kg	
Capacidad de carga (MMA-POM)	1.000-1.750 kg	
Volumen	11,3 m3	
Autonomía (NEDC)	200 km	
Tipo de batería	Iones de litio (312 celdas)	
Capacidad	35,8 kWh	
Potencia (motor)	100 kW	
Par	290 Nm	
Peso batería	240 kg	

Tabla A.2.9. Características y prestaciones del furgón Volkswagen e-Crafter.

Anexo III. Definición de los escenarios de trabajo y sus rutas de reparto.

Los cuatro escenarios de trabajo que se plantean para el desarrollo del trabajo son los siguientes:

Escenario 1



Figura A.3.1. Escenario 1.

En el escenario 1 se realiza la operación de distribución con tres vehículos de tipos B.

Ruta 1

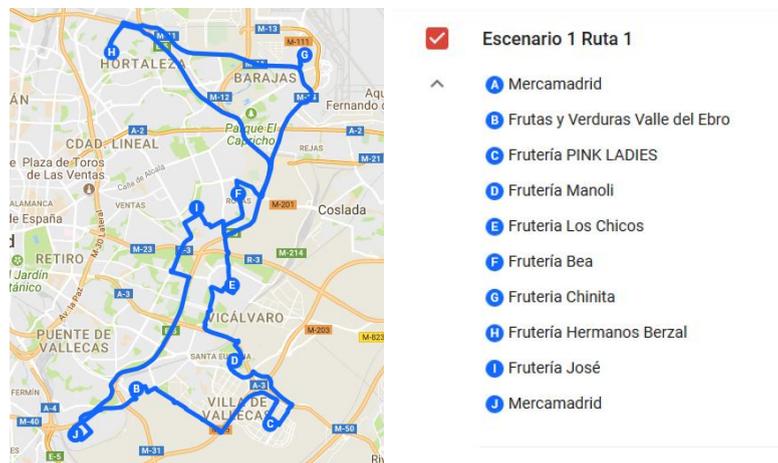


Figura A.3.2. Ruta 1 del escenario 1 y listado de clientes de la ruta 1.

En la ruta 1 se usa un vehículo de tipo B con 99 unidades de distribución y recorre una distancia de 63 km en 2 horas y 43 minutos.

Ruta 2

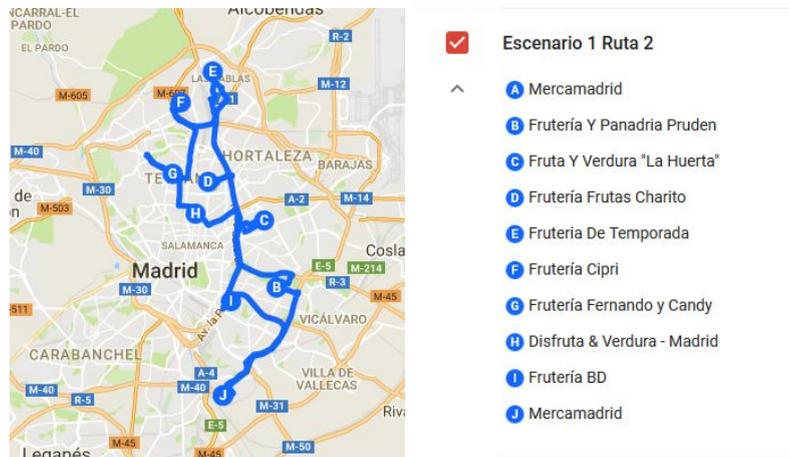


Figura A.3.3. Ruta 2 del escenario 1 y listado de clientes de la ruta 2.

En la ruta 2 se usa un vehículo de tipo B con 95 unidades de distribución y recorre una distancia de 69 km en 2 horas y 57 minutos.

Ruta 3

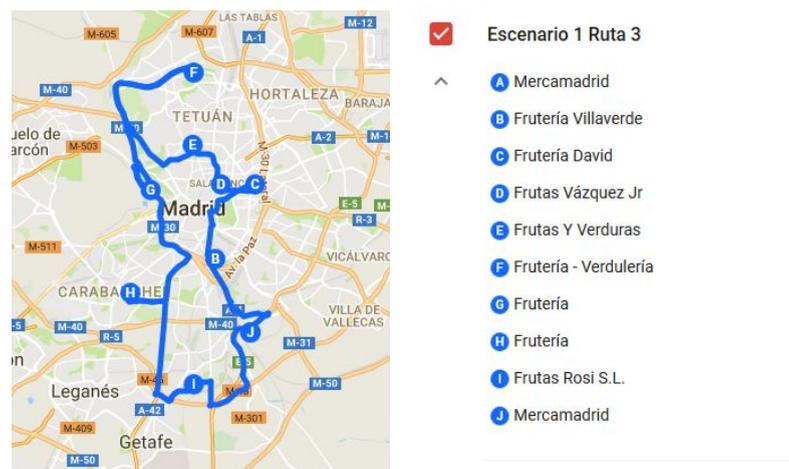


Figura A.3.4. Ruta 3 del escenario 1 y listado de clientes de la ruta 3.

En la ruta 3 se usa un vehículo de tipo B con 76 unidades de distribución y recorre una distancia de 75 km en 3 horas y 11 minutos.

Por tanto, en el escenario 1 se recorre una distancia total de 207 km. Teniendo en cuenta que todos los vehículos parten de Mercamadrid a la vez, la distribución es realizada en 3 horas y 11 minutos.

Escenario 2



Figura A.3.5. Escenario 2.

En el escenario 2 se realiza la operación de distribución con dos vehículos de tipo B y dos vehículos de tipo A.

Ruta 1

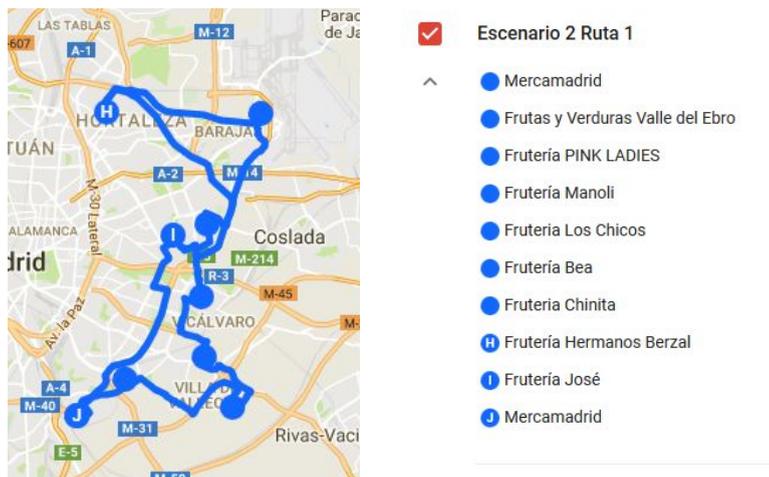


Figura A.3.6. Ruta 1 del escenario 2 y listado de clientes de la ruta 1.

En la ruta 1 se utiliza un vehículo de tipo B con 99 unidades de distribución y recorre una distancia de 63 km en 2 horas y 43 minutos.

Ruta 2

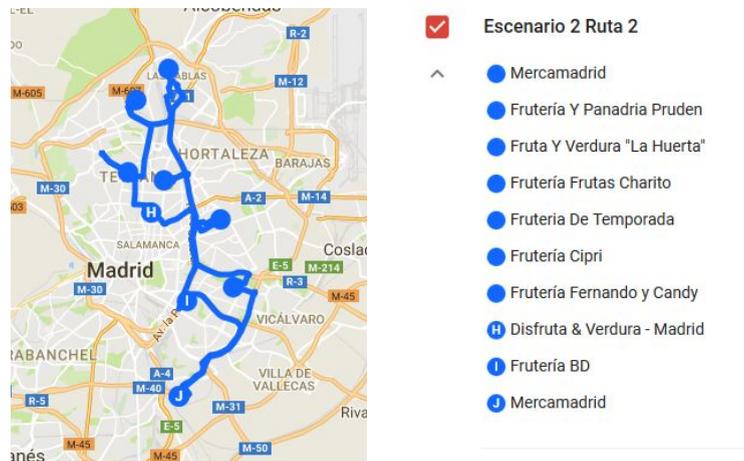


Figura A.3.7. Ruta 2 del escenario 2 y listado de clientes de la ruta 2.

En la ruta 2 se utiliza un vehículo de tipo B con 95 unidades de distribución y recorre una distancia de 69 km en 2 horas y 57 minutos.

Ruta 3

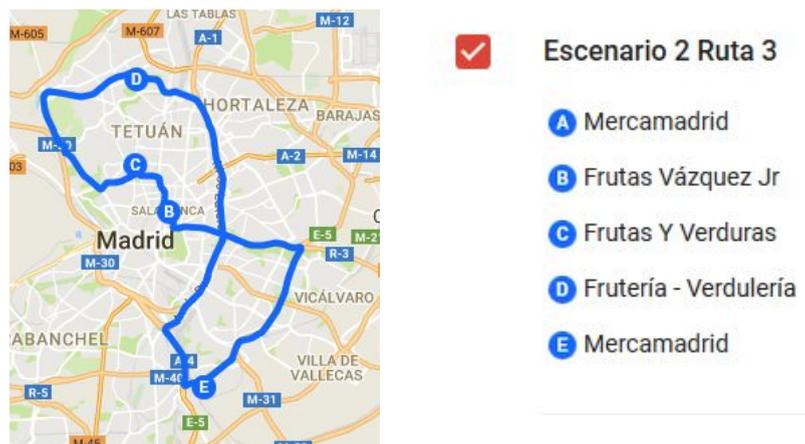
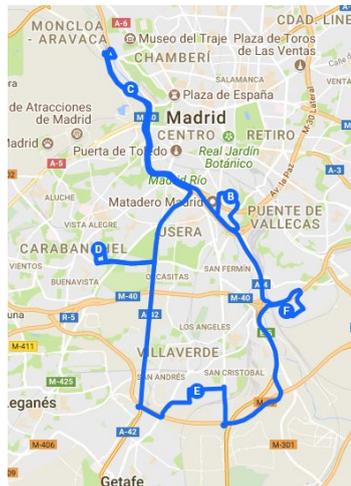


Figura A.3.8. Ruta 3 del escenario 2 y listado de clientes de la ruta 3.

En la ruta 3 se utiliza un vehículo de tipo A con 20 unidades de distribución y recorre una distancia de 47 km en 1 hora y 23 minutos.

Ruta 4



Escenario 2 Ruta 4

- A Mercamadrid
- B Frutería Villaverde
- C Frutería
- D Frutería
- E Frutas Rosi S.L.
- F Mercamadrid

Figura A.3.9. Ruta 4 del escenario 2 y listado de clientes de la ruta 4.

En la ruta 4 se utiliza un vehículo de tipo A con 40 unidades de distribución y recorre una distancia de 49 km en 1 hora y 52 minutos.

Por tanto, en el escenario 2 se recorre una distancia total de 228 km. Teniendo en cuenta que todos los vehículos parten de Mercamadrid a la vez, la distribución es realizada en 2 horas y 57 minutos.

Escenario 3



Figura A.3.10. Escenario 3.

En el escenario 3 se realiza la operación de distribución con 1 vehículo de tipo B y 3 vehículos de tipo A.

Ruta 1

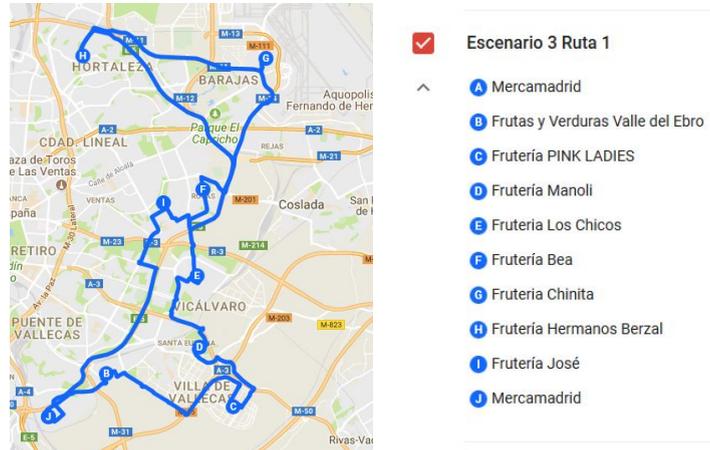


Figura A.3.11. Ruta 1 del escenario 3 y listado de clientes de la ruta 1.

En la ruta 1 se usa un vehículo de tipo B con 99 unidades de distribución y recorre una distancia de 63 km en 2 horas y 43 minutos.

Ruta 2

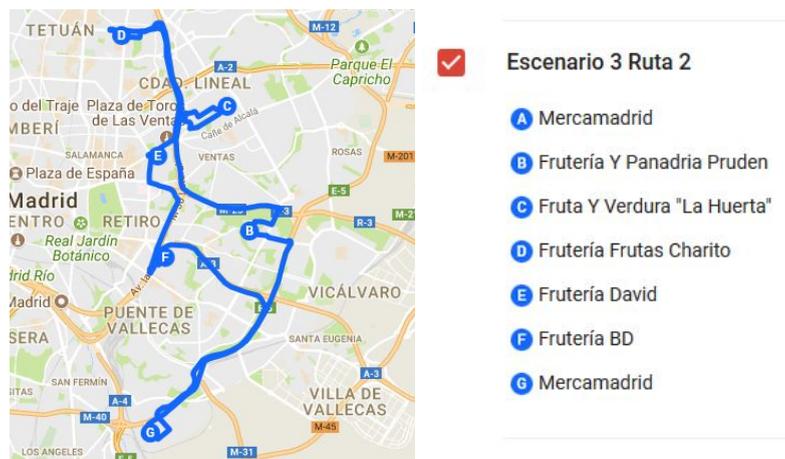


Figura A.3.12. Ruta 2 del escenario 3 y listado de clientes de la ruta 2.

En la ruta 2 se usa un vehículo de tipo A y transportará 59 unidades de distribución y recorre una distancia de 44 km en 1 hora y 55 minutos.

Ruta 3

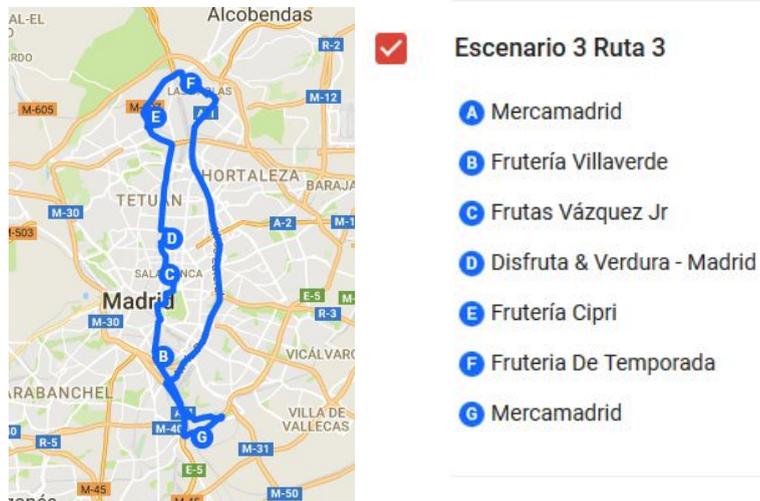


Figura A.3.13. Ruta 3 del escenario 3 y listado de clientes de la ruta 3.

En la ruta 3 se utiliza un vehículo de tipo A con 52 unidades de transporte y recorre una distancia de 49 km en 2 horas y 1 minuto.

Ruta 4

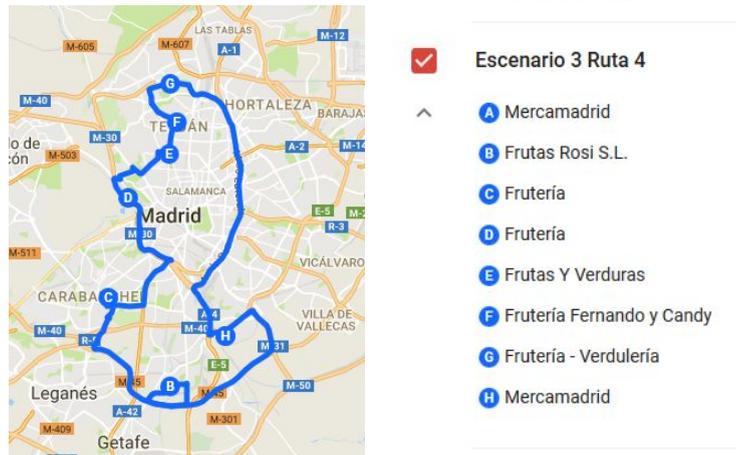


Figura A.3.14. Ruta 4 del escenario 3 y listado de clientes de la ruta 4.

En la ruta 4 se utilizará un vehículo de tipo A con 60 unidades de distribución y recorre una distancia de 67 km en 2 horas y 23 min.

Por tanto, en el escenario 3 se recorre una distancia total de 223 km. Teniendo en cuenta que todos los vehículos parten de Mercamadrid a la vez, la distribución es realizada en 2 horas y 43 minutos.

Escenario 4



Figura A.3.15. Escenario 4.

En el escenario 4 se realiza la operación de distribución con cinco vehículos de tipo A.

Ruta 1

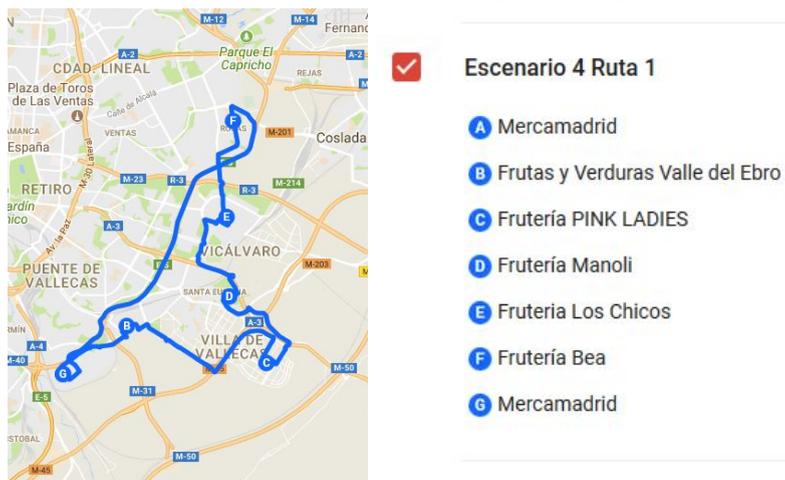
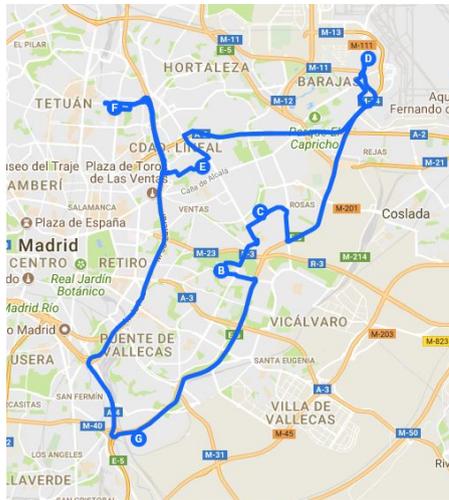


Figura A.3.16. Ruta 1 del escenario 4 y listado de clientes de la ruta 1.

En la ruta 1 se utiliza un vehículo de tipo A con 56 unidades de distribución y recorre una distancia de 36 km en 1 hora y 39 minutos.

Ruta 2



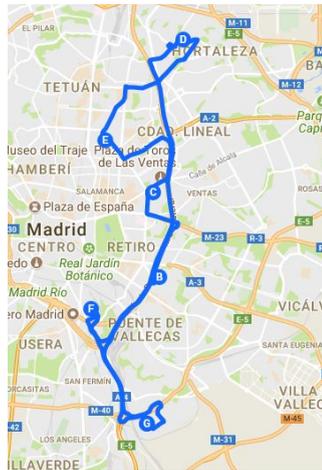
Escenario 4 Ruta 2

- A** Mercamadrid
- B** Frutería Y Panadería Pruden
- C** Frutería José
- D** Frutería Chinita
- E** Fruta Y Verdura "La Huerta"
- F** Frutería Frutas Charito
- G** Mercamadrid

Figura A.3.17. Ruta 2 del escenario 4 y listado de clientes de la ruta 2.

En la ruta 2 se usa un vehículo de tipo A con 57 unidades de distribución y recorre una distancia de 53 km en 2 horas y 4 minutos.

Ruta 3



Escenario 4 Ruta 3

- A** Mercamadrid
- B** Frutería BD
- C** Frutería David
- D** Frutería Hermanos Berzal
- E** Disfruta & Verdura - Madrid
- F** Frutería Villaverde
- G** Mercamadrid

Figura A.3.18. Ruta 3 del escenario 4 y listado de clientes de la ruta 3.

En la ruta 3 se usa un vehículo de tipo A con 60 unidades de distribución y recorre una distancia de 43 km en 1 hora y 54 minutos.

Ruta 4



Escenario 4 Ruta 4

- A Mercamadrid
- B Frutas Vázquez Jr
- C Frutería Fernando y Candy
- D Frutería - Verdulería
- E Frutería Cipri
- F Frutas Rosi S.L.
- G Mercamadrid

Figura A.3.19. Ruta 4 del escenario 4 y listado de clientes de la ruta 4.

En la ruta 4 se usa un vehículo de tipo A con 59 unidades de distribución y recorre una distancia de 64 km en 2 horas y 7 minutos.

Ruta 5



Escenario 4 Ruta 5

- A Mercamadrid
- B Frutería
- C Frutería
- D Frutas Y Verduras
- E Frutería De Temporada
- F Mercamadrid

Figura A.3.20. Ruta 5 del escenario 4 y listado de clientes de la ruta 5.

En la ruta 5 se utiliza un vehículo de tipo A con 38 unidades de distribución y recorre una distancia de 58 km en 1 hora y 59 minutos.

Por tanto, en el escenario 4 se recorre una distancia total de 254 km. Teniendo en cuenta que todos los vehículos parten de Mercamadrid a la vez, la distribución es realizada en 2 horas y 7 minutos.

Anexo IV. Cálculo con el programa de Automóviles Eléctricos.

Para el análisis de las prestaciones de los vehículos tipo A y B, se ha utilizado el programa de Automóviles Eléctricos de área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Zaragoza. A continuación se va a exponer el procedimiento de cálculo realizado.

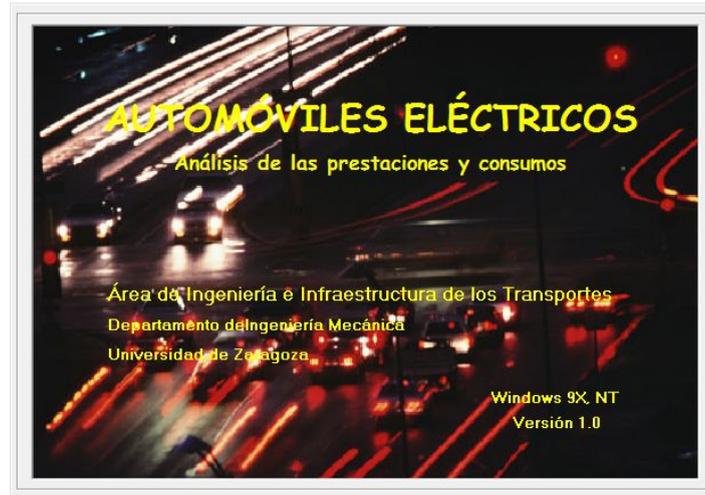


Figura A.4.1. Pantalla de inicio del programa de Automóviles Eléctricos.

Una vez iniciado el programa de Automóviles Eléctricos, aparece el siguiente menú representado en la figura A.4.2, que se divide en tres partes: Estabilidad, prestaciones y dimensionamiento energético.



Figura A.4.2. Menú principal del programa de Automóviles Eléctricos.

En primer lugar, dentro del menú de estabilidad, se ha calculado la frenada del vehículo para una velocidad máxima de 100 km/h y con un coeficiente de adherencia de 0,6 para ambos vehículos tipo.

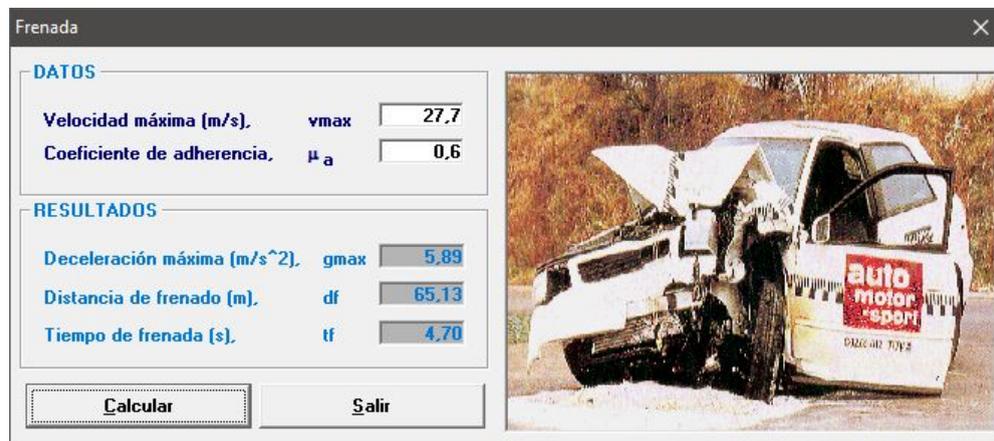


Figura A.4.3. Cálculo de la frenada del vehículo.

Segundo, se ha calculado la máxima aceleración para ambos vehículos tipo en dos situaciones diferentes. Una como si fuera totalmente cargado y otra como si fuera totalmente vacío.

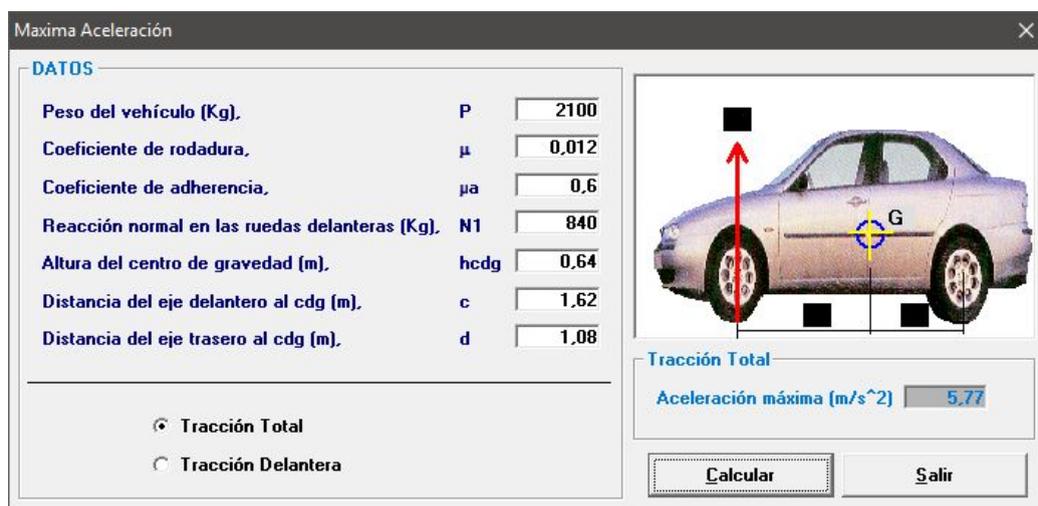


Figura A.4.4. Cálculo de máxima aceleración del vehículo.

En el primer cálculo, el peso del vehículo es el peso total del vehículo, lo que se conoce como masa máxima autorizada (MMA), que incluye el peso de vehículo en vacío, el peso de pasajero, la carga que puede transportar y el peso de la batería. Para el vehículo tipo A el peso del vehículo es de 2100 kg y para el vehículo tipo B es de 3500 kg. Y en el segundo cálculo, el peso del vehículo es el peso en orden de marcha (POM), que incluye el peso de vehículo en vacío, el peso de pasajero y el peso de batería. para el vehículo tipo A es 1500 kg y para el vehículo tipo B es 2500 kg.

El coeficiente de rodadura se refiere al contacto de la rueda punto a punto mientras está rodando. El coeficiente de rodadura es mucho menor que el coeficiente de adherencia. El valor del coeficiente de rodadura es de 0,012 y el coeficiente de adherencia es de 0,6 para ambos vehículos tipo.

En cada eje del vehículo se produce una fuerza de reacción normal. N1 es la reacción normal en el eje delantero y N2 es la reacción normal en el eje trasero. En el caso de los vehículos tipo, N1 es el 40 % del peso total del vehículo, porque la mayor parte de peso se distribuye en el eje trasero debido a la ubicación de la carga transportada. Los valores de N1 son 840 kg para el tipo A y 1400 kg para el tipo B con MMA, y 600 kg y 1000 kg con el POM respectivamente.

Se ha establecido una altura del centro de gravedad de 0,64 m para el tipo A y de 0,77 m para el tipo B. También se ha establecido una distancia del centro de gravedad al eje delantero de 1,62 m para el tipo A y de 1,91 m para el tipo B y una distancia del centro de gravedad al eje trasero de 1,08 m para el tipo A y 1,27 para el tipo B.

Tercero, se ha calculado la máxima pendiente superable en función de la adherencia y la rodadura, con un coeficiente de rodadura de 0,012 y un coeficiente de adherencia de 0,6 para ambos vehículos tipo.

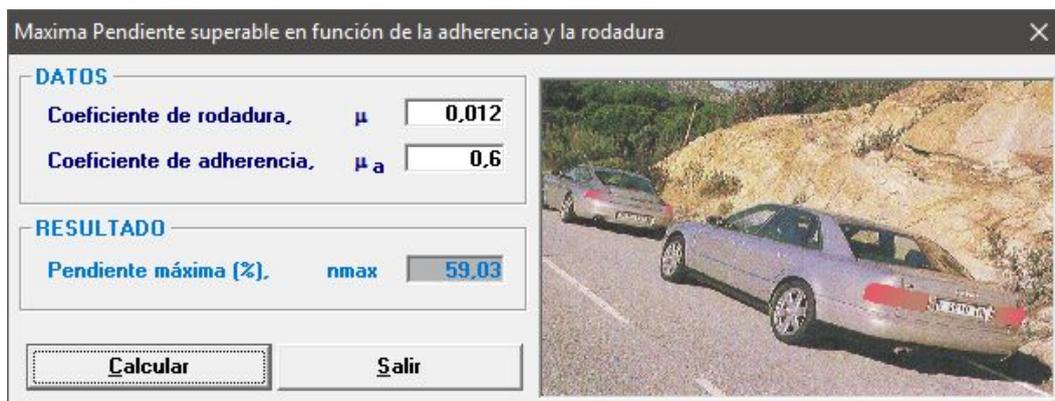


Figura A.4.5. Cálculo de máxima pendiente superable.

Aunque este resultado obtenido no es real, porque que el coeficiente de rodadura disminuye de forma exponencial con el aumento de la velocidad.

Cuarto, se ha calculado la máxima velocidad en curva.

DATOS	
Peso del vehículo (Kg).	P 2100
Coefficiente de rodadura.	μ 0,012
Coef. de adherencia.	μ_a 0,6
Alto del vehículo (m).	a 1,93
Ancho del vehículo (m).	b 1,83
Coefficiente aerodinámico.	Cx 0,4
Radio de la curva (m).	R 10

RESULTADOS	
Velocidad máxima (m/s).	vmax 7,67

Figura A.4.6. Cálculo de la máxima velocidad en curva.

El vehículo cuando está en una curva está sometido a una fuerza centrífuga que intenta desplazar el vehículo hacia el exterior de la curva. Esto se transmite como deslizamiento del vehículo en la curva.

Se ha establecido una altura de vehículo de 1,93 m para el vehículo de tipo A y 2,31 m para el vehículo de tipo B, un ancho de vehículo de 1,83 m para el tipo A y 2,07 m para el tipo B, un coeficiente de penetración aerodinámica de 0,4 y una curva de 10 m de radio para ambos vehículos.

El coeficiente aerodinámico hace referencia a la resistencia que ofrece el vehículo al viento cuando está en movimiento. El resultado de este cálculo representa que el vehículo a una velocidad superior a la obtenida derrapará.

Quinto, se ha calculado la comprobación de vuelco en curva.

DATOS	
Peso del vehículo (Kg).	P 2100
Radio de la curva (m).	R 10
Vía trasera (m).	Lt 1,53
Vía delantera (m).	Ld 1,52
Rigidez de la suspensión trasera (Kg/m).	Kt 3000
Rigidez de la suspensión delantera (Kg/m).	Kd 2500
Altura del cdg (m).	hcdg 0,64

RESULTADOS	
Angulo de inclinación del vehículo (°).	θ 28,68
Velocidad a la que se produce el vuelco (m/s).	v 10,82

Figura A.4.7. Cálculo de la comprobación de vuelco en curva.

Las curvas se peraltan con cierto ángulo de inclinación para evitar el vuelco de los vehículos. Se entiende que si la rueda se separa del asfalto ya se considera vuelco.

Se ha establecido los siguiente parámetros: Una vía trasera de 1,53 m para el vehículo tipo A y de 1,73 m para el B. Una vía delantera de 1,52 m para el A y de 1,75 m para el B. Una rigidez de la suspensión trasera de 3000 kg/m y una rigidez de la suspensión delantera de 2500 kg/m para ambos vehículos tipo.

Con estos cálculos se ha terminado la parte del menú de estabilidad.

En segundo lugar, dentro del menú de prestaciones, se ha realizado el cálculo de resistencias y potencia necesaria.

The screenshot shows a software interface for calculating resistances and required power. It is divided into three main sections: 'DATOS' (Data), 'RESULTADOS' (Results), and a control area.

DATOS	
Peso del vehículo (Kg).	P = 2100
Coefficiente de rodadura.	μ = 0,012
Coefficiente aerodinámico.	C_x = 0,4
Pendiente a superar (%).	n = 0
Alto del vehículo (m).	a = 1,93
Ancho del vehículo (m).	b = 1,83
Velocidad del vehículo (m/s).	v = 27,7
Rendimiento de la transmisión.	η_t = 0,85

RESULTADOS	
Resistencia a la rodadura (Kg).	R_r = 25,20
Resistencia a pendientes (Kg).	R_p = 0,00
Resistencia aerodinámica (Kg).	R_a = 57,59
Resistencia total (Kg)	R_t = 82,79
Potencia Necesaria [C.V.].	P_w = 35,97

Buttons: **Calcular**, **Salir**

Figura A.4.8. Cálculo de resistencias y potencia necesaria.

En este cálculo se va a suponer que no existe pendiente ($n=0$) en todas las rutas para simplificar el problema y se ha establecido un rendimiento de la transmisión (η_t) de 0,85 para los dos vehículos tipo.

Como resultado se obtiene la resistencia al avance que es la suma de la resistencia a la rodadura, la resistencia al viento y la resistencia a las pendientes.

Segundo, se ha calculado la relación de transmisión.

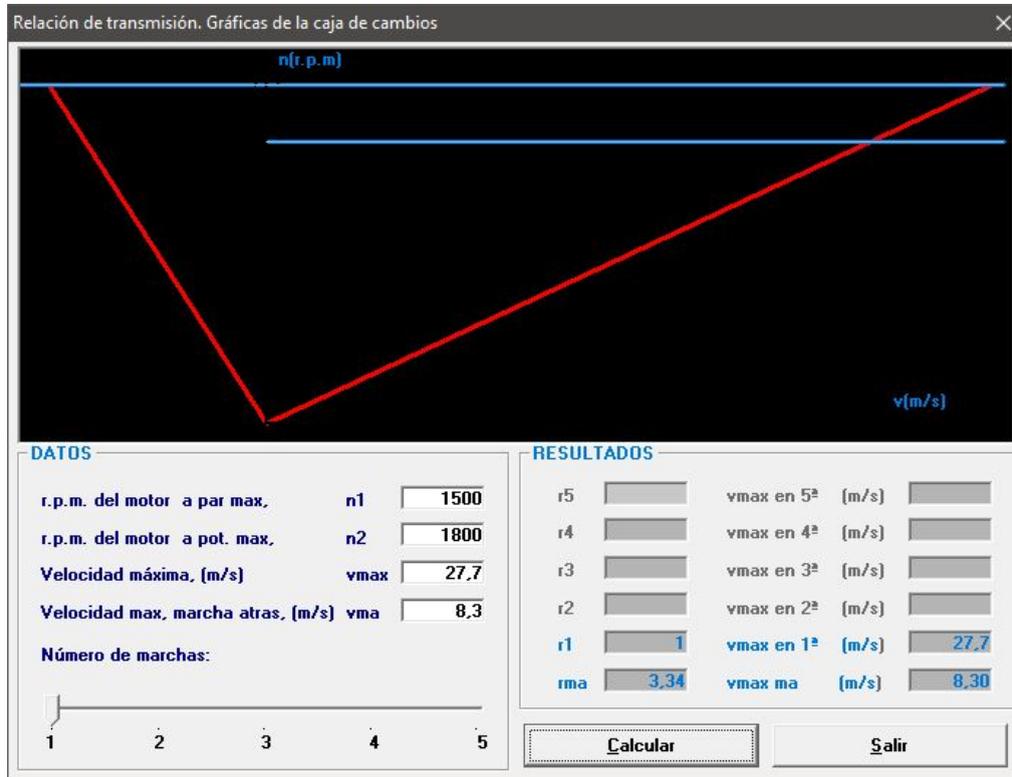


Figura A.4.9. Cálculo de la relación de la transmisión y gráfico de la caja de cambios.

Se ha establecido 1500 rpm de motor a par máximo, 1800 rpm de motor a potencia máxima, una velocidad máxima a macha atrás de 8,3 m/s y una sola marcha para ambos vehículos tipo.

Tercero, se ha creado la curva Fuerza-Velocidad (en rojo) para compararla con la curva de resistencia al avance (en negro) para ambos vehículos.

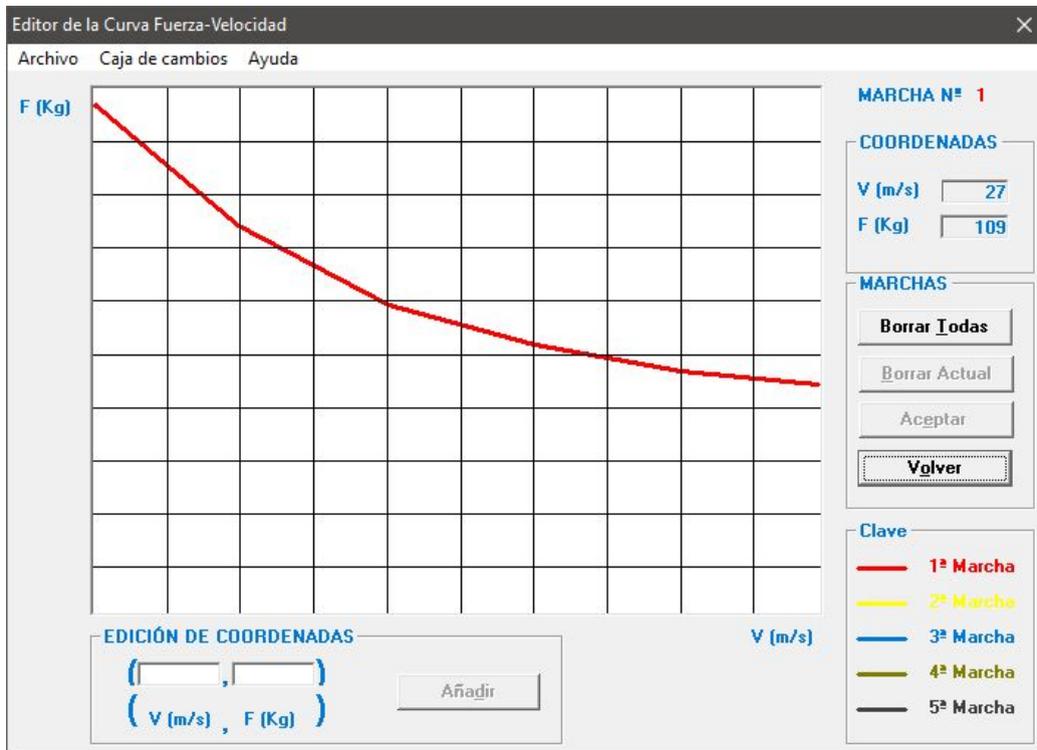


Figura A.4.10. Curva Fuerza-Velocidad.

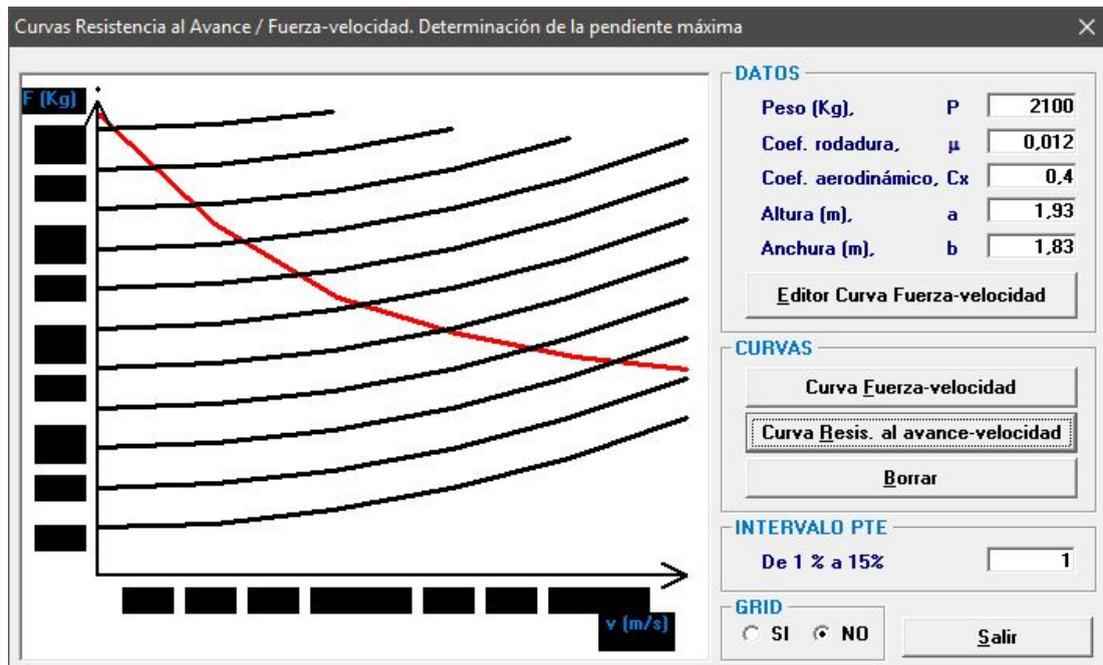


Figura A.4.11. Curva Fuerza-Velocidad y curvas de resistencia al avance.

Cuarto, se ha graficado la curva inversa de la aceleración-velocidad.

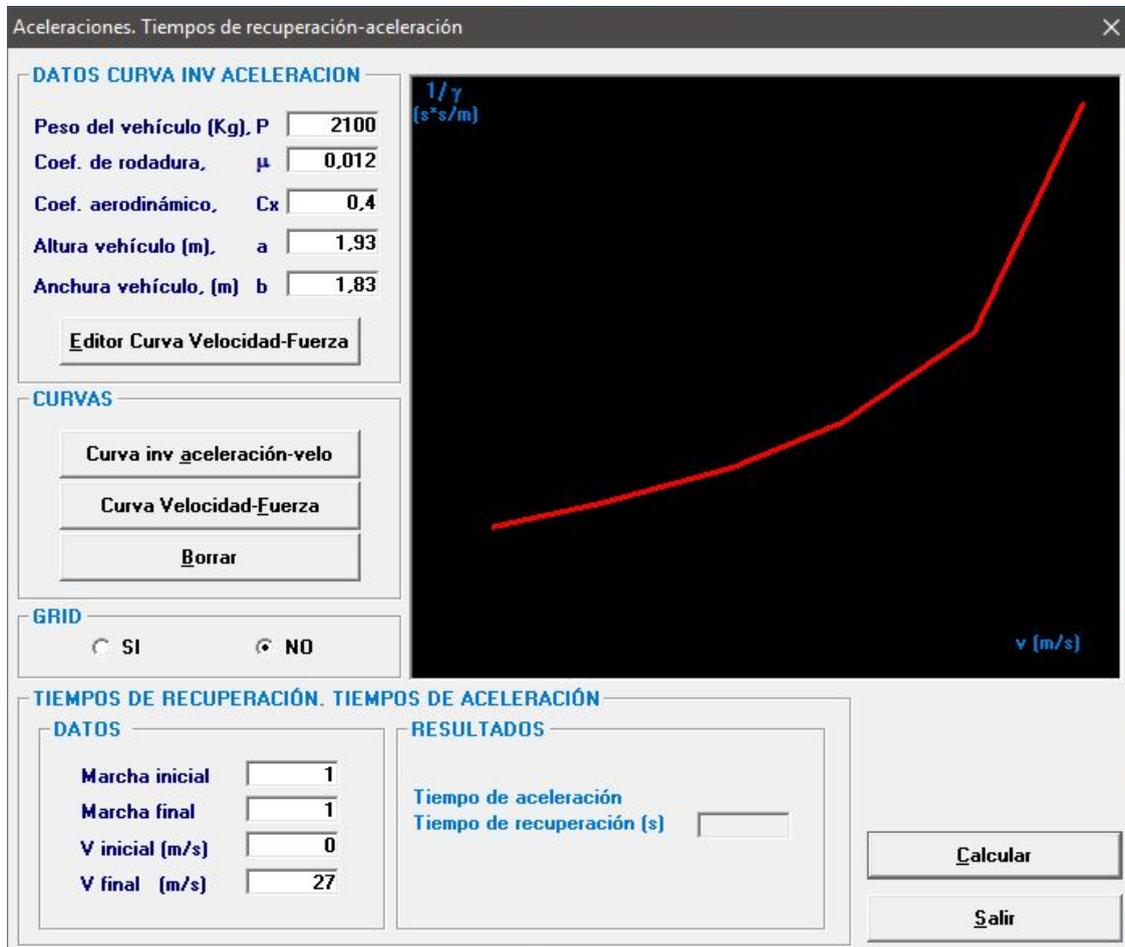


Figura A.4.12. Curva inversa de la aceleración-velocidad.

Con todos estos cálculos y gráficos se ha terminado la parte del menú de prestaciones.

En tercer lugar, y por último, dentro del menú de dimensionamiento energético, se han introducido los datos. Un rendimiento del motor eléctrico de 0,95 para ambos vehículos tipo. La autonomía corresponde a los kilómetros que recorre cada vehículo en su respectiva ruta. También se ha dado un valor de 72 voltios para la tensión del motor y una densidad de 90 Wh/kg para los dos vehículos tipo.

The screenshot shows a software window titled "Dimensionamiento Energético" with a close button (X) in the top right corner. The interface is divided into several sections:

- DATOS:** A list of input parameters with their values:
 - Peso (Kg): P = 2100
 - Coefficiente de rodadura: μ = 0,012
 - Coefficiente aerodinámico: Cx = 0,4
 - Rendimiento de la transmisión: η_t = 0,85
 - Rendimiento del motor eléctrico: η_e = 0,95
 - Pendiente (%): n = 0
 - Autonomía (m): A = 270
 - Altura del vehículo (m): a = 1,93
 - Anchura del vehículo (m): b = 1,83
 - Tensión del motor eléctrico (v): V = 72
 - Densidad energía batería (wh/Kg): ρ = 100
- Editor Curva Carga-Capacidad:** A button located below the input data.
- CICLO DE FUNCIONAMIENTO:** A section with three input fields:
 - Tiempo total del ciclo (s): T
 - Tiempo de descarga del ciclo (s): Td
 - Distancia del ciclo (m): D = 0
- Editor Ciclo de funcionamiento:** A button located below the cycle data.
- RESULTS (RESULTADOS):** A list of output parameters, each followed by an empty input field:
 - Número de ciclos
 - E aceleración (Kws)
 - E cruce (Kws)
 - E Ciclo (Kws)
 - E Total (Kwh)
 - Tiempo de descarga (min)
 - Peso de la Batería (Kg)
 - % de la Capacidad de descarga en 5 h
 - Capacidad de la Batería (Ah)
 - % Peso Batería sobre peso vehículo
 - Consumo específico (Kwh/Peso(T)Km)
- Messages:** Two message boxes are present:
 - "No se ha introducido ningún ciclo de funcionamiento" (No operating cycle has been introduced).
 - "No se ha introducido la curva Porcentaje de Carga- capacidad" (The load-capacity curve has not been introduced).
- Buttons:** "Calcular" (Calculate) and "Salir" (Exit) buttons are located at the bottom right.

Figura A.4.13. Datos del dimensionamiento energético.

Segundo, se ha creado la curva Capacidad-Carga de la batería, la cual vamos a suponer que es la misma para ambos vehículos.

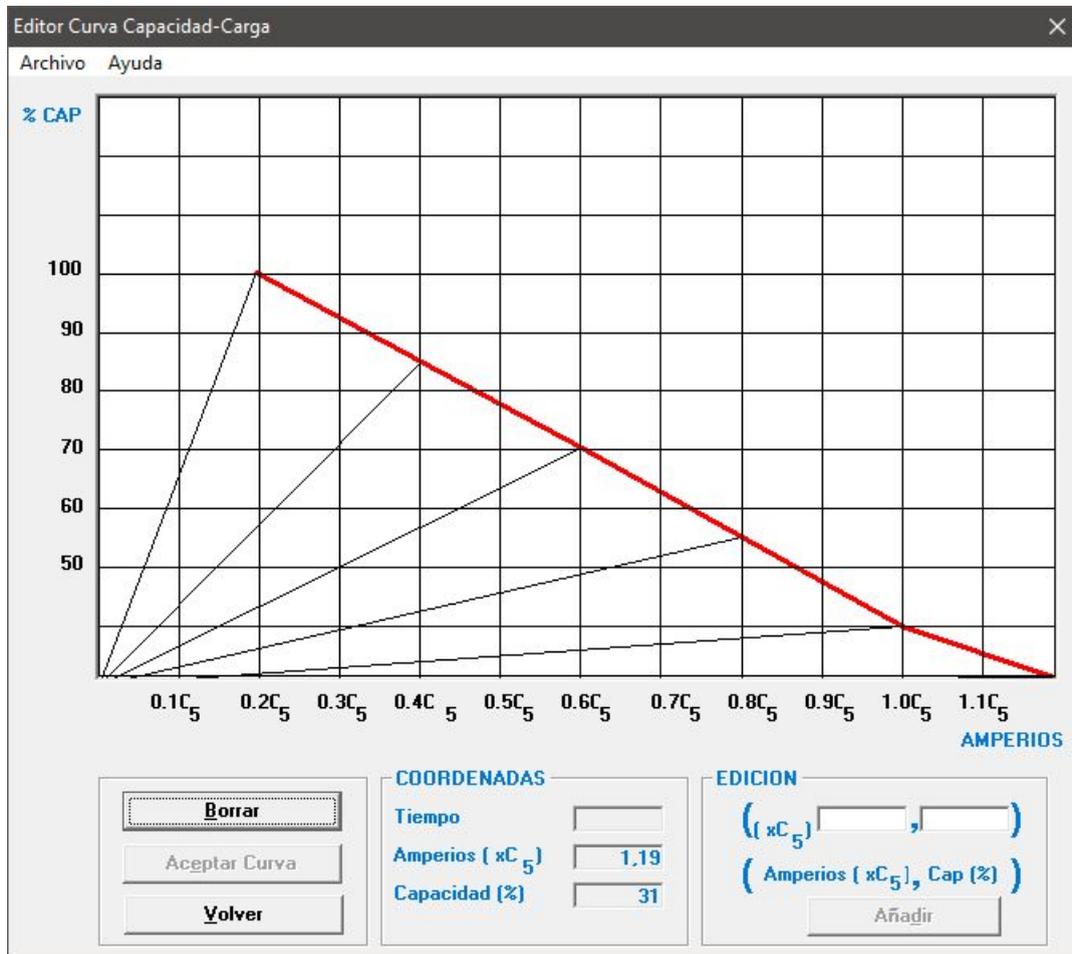


Figura A.4.14. Curva Capacidad-Carga.

Tercero, se ha creado el ciclo de funcionamiento para cada vehículo de cada escenario en su respectiva ruta.

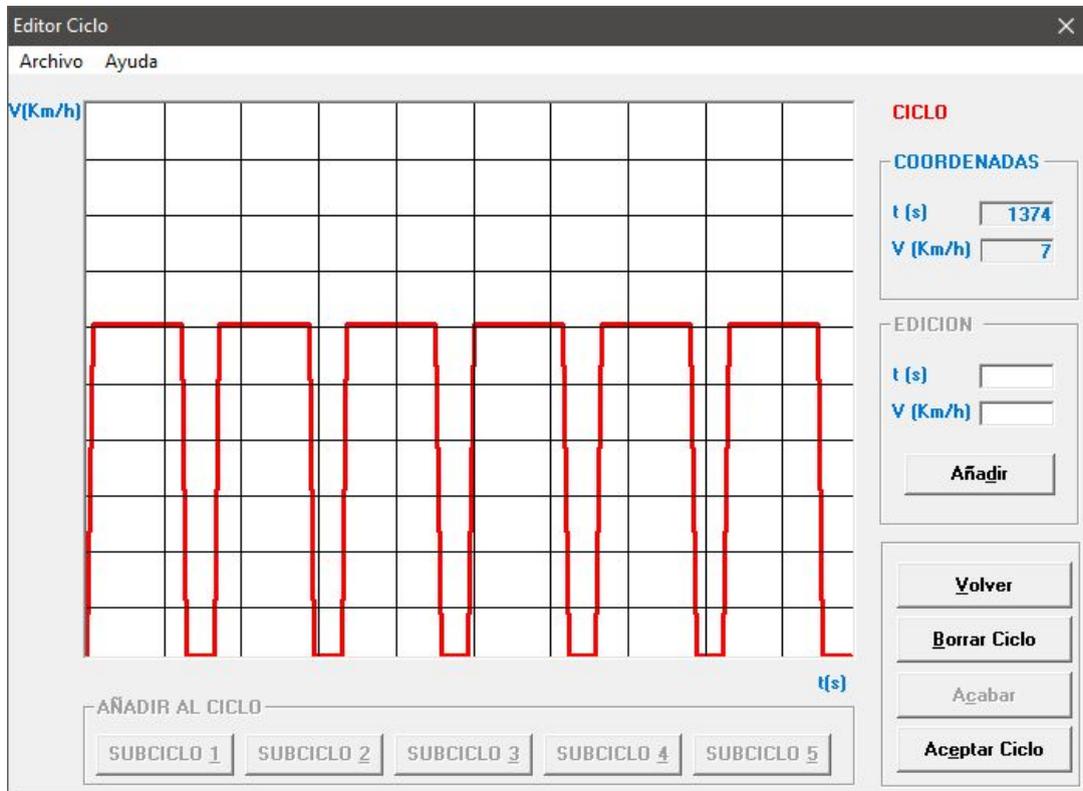


Figura A.4.15. Ciclo de funcionamiento.

Finalmente, se han obtenido los resultados requeridos para poder comparar los diferentes escenarios de trabajo.

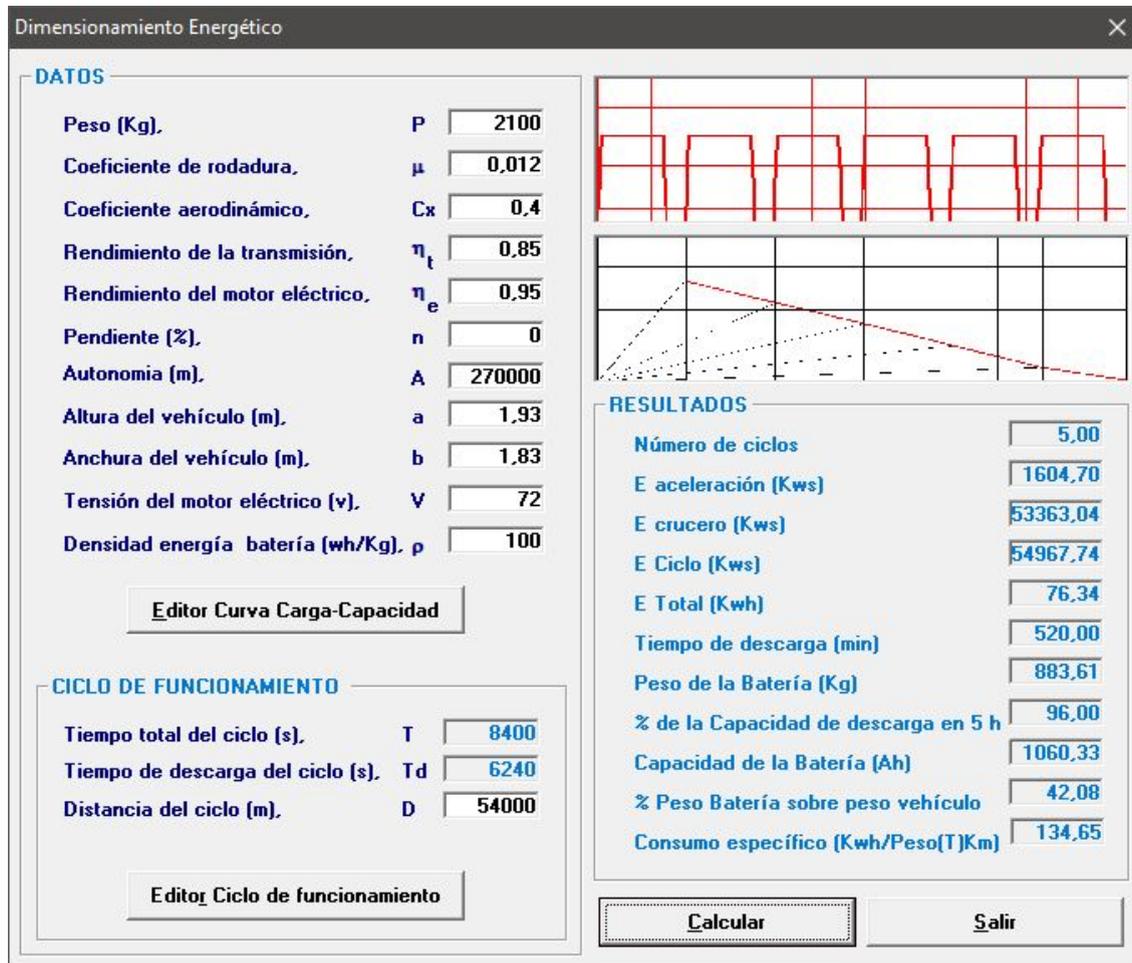


Figura A.4.16. Resultados finales del programa de Automóviles Eléctricos.