

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

**Estudio sobre planta de Retrofit de vehículos de
combustión interna a eléctricos.**

Autor: Eduardo Navarro Martínez de Velasco

Tutor: José Manuel Framiñán Torres

Tutor Adjunto: Juan Carlos Meléndez Rodríguez

Dpto. Organización Industrial y Gestión de
Empresas

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio sobre planta de Retrofit de vehículos de combustión interna a eléctricos.

Autor:

Eduardo Navarro Martínez de Velasco

Tutor:

José Manuel Framiñán Torres

Tutor Adjunto:

Juan Carlos Meléndez Rodríguez

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Grado: Estudio sobre planta de Retrofit de vehículos de combustión interna a eléctricos.

Autor: Eduardo Navarro Martínez de Velasco

Tutor: José Manuel Framiñán Torres

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El secretario del Tribunal

Sevilla, 2023

Agradecimientos

A mi familia, por aguantar mis ideas insensatas.

A Juan Carlos, por dedicar su tiempo y disfrutar de la ingeniería conmigo.

A Jose Manuel, por enseñarme durante el primer cuatrimestre los conceptos que luego he visto aplicados.

Eduardo Navarro Martínez de Velasco

Sevilla, 2023

Resumen

En este TFG se realizará el estudio de una instalación Industrial que aplicando el concepto y tecnología de Retrofit, realice la conversión de coches de combustión interna a coches 100% eléctricos. Este TFG tiene como objeto analizar el proceso productivo a nivel industrial que ha de llevarse a cabo para poder ser implementado en la industria de la automoción de nuestro país.

Abstract

This TFG regards the study of an industrial facility which applying the concept and technology called Retrofit, aims to turn internal combustion cars into 100% electric cars. This TFG would try to shed light on the productive process to be carried out, with an industrial scale approach, and the feasibility to be implemented in the automotive industry.

Índice

Agradecimientos	v
Resumen	i
Abstract	i
Índice	ii
Índice de Figuras	iv
Índice de Tablas	v
Acrónimos Y Notación Matemática	i
1 Introducción	2
1.1 <i>Objetivos del trabajo fin grado</i>	2
1.1.1 <i>Objetivos principales y secundarios</i>	2
1.2 <i>Origen de la Idea</i>	3
1.3 <i>Concepto de Retrofit</i>	4
1.4 <i>Objetivos Agenda 2030</i>	4
1.5 <i>Estado del Arte</i>	6
1.5.1 <i>Horizonte de Estudio</i>	7
1.5.2 <i>Conclusiones Iniciales</i>	7
2 La movilidad eléctrica y el Retrofit	8
2.1 <i>Introducción a la Movilidad Eléctrica</i>	8
2.2 <i>Definición del producto</i>	8
2.3 <i>Características objetivo del Producto: Retrofit Window</i>	10
2.3.1 <i>Concepto de Retrofit Window</i>	12
2.4 <i>Conclusiones respecto al Producto</i>	14
2.5 <i>Benchmarking y dimensionado de especificaciones técnicas del producto</i>	16
2.6 <i>Componentes a retirar del vehículo de combustión durante el proceso de conversión</i>	20
2.6.1 <i>Motor Eléctrico</i>	21
2.6.2 <i>Sistema de Baterías</i>	22
2.6.3 <i>Placa Adaptadora</i>	22
2.6.4 <i>Soportes del Motor:</i>	23
2.6.5 <i>Sistema de Gestión de Baterías:</i>	23
2.6.6 <i>Inversor/Convertidor</i>	23
2.6.7 <i>Unidad de Control</i>	24
2.6.8 <i>Sistema Aceleración</i>	24
2.6.9 <i>Bomba de Vacío para el Servofreno Eléctrico:</i>	24
2.6.10 <i>Protecciones eléctricas:</i>	24
2.6.11 <i>Sistema de Carga:</i>	24

2.7	<i>Componentes a retirar del vehículo de combustión durante el proceso de conversión</i>	25
2.7.1	Elementos del Exterior del motor	26
2.7.2	Elementos de Transmisión	26
2.7.3	Elementos eléctricos	27
3	Estudio de proceso	28
3.1	<i>Descripción del proceso a realizar</i>	28
3.2	<i>Elección de modelo de sistema de producción</i>	28
3.3	<i>Definición de Actividades y relaciones de Precedencia</i>	29
3.4	<i>Implementación de la Calidad en el proceso</i>	33
3.4.1	Recepción de vehículos	34
3.4.2	Implementación Norma ISO 9001	34
3.4.3	Estación Pre ITV	35
3.5	<i>Iteración del Diagrama de Actividades</i>	36
3.5.1	Tiempos de proceso de las Quality Gates	36
3.6	<i>Diagrama de Actividades Mejorado</i>	36
3.7	<i>Datos de Demanda y de Producción</i>	36
3.8	<i>Definición de las estaciones y linealización</i>	36
3.8.1	Diagramas del proceso Productivo	37
3.9	<i>Desarrollo de la logística Inversa</i>	40
4	Análisis del Marco Legislativo	41
4.1	<i>Marco Legislativo en España</i>	41
4.2	<i>Homologación de los cambios del vehículo</i>	42
4.3	<i>Obtención de los certificados de Taller e Informe de Conformidad</i>	44
4.3.1	Proyecto Técnico	44
4.3.2	Certificación final de Obra	44
4.3.3	Informe de Conformidad	45
4.3.4	Certificado de Taller	45
4.3.5	Conclusiones respecto a la homologación	45
4.4	<i>Marco Legislativo en Europa</i>	46
4.4.1	Criterios ASG y su implicación	46
4.4.2	Documentación por presentar referente a los cambios del vehículo fuera de España	46
5	Análisis Económico y de viabilidad	49
5.1	<i>Modelo de Costes de la Planta</i>	49
5.1.1	Costes Directos del Producto:	49
5.1.2	Costes Estructuras	50
5.1.3	Costes Legales	50
5.2	<i>Costes Totales y Precio Objetivo</i>	52
6	Conclusiones	53

Referencias	54
Glosario	10

Índice de Figuras

1. Objetivo 7- Energía sostenible y No contaminante.....	5
2. Objetivo 9: Industria, innovación e Infraestructura sostenible.....	5
3. Objetivo 11- Ciudades y comunidades Sostenibles.....	5
4. Objetivo 12. Producción y Consumo Responsable.....	5
5. Objetivo 13. Acción por el Clima	5
6.. Tipos de Vehículos Eléctricos.	8
7. Factores relevantes a la hora de adquirir un vehículo	9
8. Openness to the daily use of car electricification - Residential area	9
9. Depreciación y costes de mantenimiento de un vehículo de cuatro ruedas operado en torno a 20 km diarios.	11
10. Depreciación y costes de mantenimiento de un vehículo de cuatro ruedas operado en torno a 40 km diarios.	11
11. Depreciación y costes de mantenimiento de un vehículo de cuatro ruedas operado en torno a 60 km diarios.	12
12. Depreciación de componentes en un instante t0.	12
13. Retrofit Window según la depreciación de un vehículo en años.....	13
14. Comparativa de la depreciación de un vehículo respecto a su ciclo de vida	14
15. Ilustración de un Jaguar E type al que se le ha realizado Retrofit.	20
16. Interior de un Porsche GT convertido a EV	21
17. Placa Adaptadora instalada en el Motor eléctrico	22
18. Ensamble Motor Placa Caja Cambios.....	23
19. Ilustración de un Inversor de EV.....	23
20. Bomba Vacío.....	24
21. Tipos de enchufes para cargadores de EV.....	25
22. Partes de un automóvil.	26
23. Diagrama de Actividades de Desmontaje con relaciones de precedencia.....	30
24. Diagrama de Actividades de Montaje con relaciones de precedencia.	31
25. Diagrama de Precedencia de Actividades con Quality Gates. Desmontaje.	37
26. Diagrama de precedencia de Actividades y Quality Gates. Montaje.	38
27. Definición de Estaciones y KPIs del proceso.....	37

28. Vista planta del proceso productivo.	38
29. Diagrama en Autocad del perfil de las Estaciones del Proceso.....	39
30. Orden de evolución y conexión de las normativas españolas.	41

Índice de Tablas

Tabla 1. Reducción de Emisiones de un vehículo electrificado respecto a un vehículo nuevo.	4
Tabla 2. Amortización según el uso diario.....	14
Tabla 3. Ventas Anuales de vehículos Utilitarios	15
Tabla 4. Segunda Iteración en la Selección de los Vehículos	16
Tabla 5. Benchmarking motores de vehículos eléctricos Utilitarios.	17
Tabla 6. Benchmarking baterías de vehículos eléctricos Utilitarios.....	18
Tabla 7. Tipos de Recargas de Vehículos eléctricos.	25
Tabla 9. Tiempos y Precedencias de las Actividades.....	33
Tabla 10. Lista de Materiales (Bills of Materials)	50
Tabla 11. Costes Generales	52

Acrónimos Y Notación Matemática

AECONVE	Asociación Española para la conversión de Vehículos Eléctricos
AC	Corriente Alterna (alternating current)
ADEME	Agencia Europea de Medio Ambiente
BMS	Battery Management System (Sistema de Gestión de Baterías)
DC	Corriente Continua (Direct Current)
ECU	Electronic Control Unit (Unidad Electrónica de Control)
EV	Electric Vehicle (Vehículo Eléctrico)
REV	Retrofitted Electric Vehicle
kW	Kilovatios
Nm	Newton Metro (Unidad de Par Motriz)
SDG	Sustainable Development Goals (Objetivos de Desarrollo Sostenible)
WLTP	Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (Procedimiento de ensayo mundial armonizado para los turismos y los vehículos comerciales ligeros)
:	Tal que
<	Menor o igual
>	Mayor o igual
=	Igual que
λ	Tasa de Entrada de un sistema
μ	Throughput (Rendimiento o producción de un sistema ; Tasa de salida de un sistema)
τ	Takt Time (tiempo en el que tarda en salir una pieza de un proceso productivo)

1 INTRODUCCIÓN

“No es la especie más fuerte la que sobrevive, ni la más inteligente, sino la que responde mejor al cambio” Charles Darwin

La movilidad eléctrica ofrece soluciones elegantes y cómodas a diversos problemas a los que nos enfrentamos hoy en día. Ésta posibilita que los ciudadanos mantengan la comodidad y libertad que les ofrece un vehículo personal, evitando la contaminación masiva producida por los gases de combustión. El mundo espera ansioso a que la tecnología de movilidad eléctrica se desplace en su curva de innovación, aunque existen factores que se le resisten, como sus todavía elevados costes de fabricación, la falta de competitividad en autonomía frente a sus homónimos de combustión, o la regulación a la que se enfrenta.

Casi todo lo que funciona en un automóvil eléctrico es mucho más simple a nivel mecánico que los actuales motores que mueven los chasis hoy en día, pero el coche eléctrico es capaz de llegar tan lejos como su batería le permite, y ahí reside su actual debilidad. [1]

A continuación, se desglosan los objetivos de este TFG, que sirven de anticipo acerca del contenido que se desarrollará y en el que se enfocará el estudio, tanto de la tecnología como del proceso productivo.

1.1 OBJETIVOS DEL TRABAJO FIN GRADO

El objetivo de este TFG es el estudio de una planta industrial que realice Retrofit a vehículos de combustión interna. El concepto de Retrofit es un anglicismo que se emplea en ingeniería para definir un proceso en el que a una máquina se le sustituyen componentes antiguos (Retro) por componentes nuevos para mejorar el funcionamiento de esta o dotarla de nuevas características. [5]

Para alcanzar dicho objetivo, será necesario definir un proceso en el que vehículos de combustión en uso hoy en día sean el insumo de la planta, para obtener como resultado vehículos 100% eléctricos listos para ser utilizados, debiendo además cumplir la legislación vigente para que el vehículo modificado obtenga la certificación industrial necesaria para su uso

Así, se definen los objetivos principales, de los que también obtendremos objetivos secundarios.

1.1.1 Objetivos principales y secundarios

- Buscar una alternativa asequible de movilidad eléctrica
 - Ofrecer alternativas para acelerar la transición a un modelo de transporte sostenible
- Describir el proceso de conversión de un coche de combustión a eléctrico.
 - Analizar el estado del arte de la movilidad eléctrica.
 - Conocer los elementos y operaciones a realizar para la conversión de un vehículo.
- Proponer una instalación industrial que implante un proceso productivo de conversión de vehículos de combustión a vehículos eléctricos.
 - Equilibrar las estaciones para el correcto funcionamiento del sistema productivo.
 - Identificar los requisitos y procedimientos legales para la certificación en España.
 - Evaluar la viabilidad del modelo de negocio
 - Examinar la legislación en España acerca del Retrofit
 - Desarrollar un modelo de Costes que avale la propuesta de Valor.

1.2 ORIGEN DE LA IDEA

La idea en la que se basa este TFG proviene de la combinación de varios factores que intentaré detallar brevemente;

Hace unos meses recibí una multa por circular por *Madrid central*[®] con un vehículo no autorizado debido a las restricciones en esta zona. La multa estaba justificada, pero mientras la pagaba pensé que no es justo que se restrinja el acceso mientras que la llave para poder acceder no esté al alcance de muchos bolsillos.

Y esta llave es, en este caso, un vehículo eléctrico. Esta fue la primera vez que pensé en ello, ya que estaba convencido de que en caso de ofrecerle a la mayoría de gente la posibilidad de disfrutar de una movilidad más barata y sostenible, la tomarían sin mayor dilación. El problema es que hoy por hoy en nuestro país esa alternativa no existe.

Los coches eléctricos son por regla general al menos un 60% más caros que sus homónimos de combustión [2].

Debido a lo anterior, el consumidor requiere de ayuda gubernamental o de parte de la industria, ya que, aunque actualmente quieran optar por un vehículo responsable con el medio ambiente, hoy en día los coches eléctricos son demasiado caros y por lo tanto muchos hogares no pueden permitírselo.

Por otra parte, la transición a un modelo energético sostenible es otro punto que motiva esta idea. Si bien es cierto que los coches eléctricos son ya una realidad, su adopción masiva todavía no ha llegado, y para poder cumplir los objetivos de emisiones que se marcaron en la agenda 2030 de la unión europea, el transporte (ya sea de personas o mercancías) representa el 25% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en España. [3] Si realmente se quisieran cumplir estos objetivos, es definitivamente un punto crucial.

Continuando en la misma línea, otro problema al que nos enfrentamos es la acumulación masiva de residuos, en este caso industriales. La reutilización parcial o total de componentes aplicando la tecnología Retrofit permite reducir en gran medida estos residuos, aumentando la vida útil de componentes y por tanto reduciendo el impacto que generaría la producción de nuevos componentes.

Otro aspecto que motiva esta idea es la posibilidad de encontrar un nicho de mercado al ofrecer movilidad privada limpia a un precio a priori más asequible que el del mercado. Esto puede ser muy interesante, de cara a las prohibiciones de circulación ya reales en muchas ciudades (como por ejemplo en la zona central de bajas emisiones de Madrid, o en un futuro cercano la *Sevilla Green Zone*[®] anunciada por el ayuntamiento), además de la normativa vigente del cese en 2035 de fabricación de vehículos de combustión [4]. Esta técnica permitirá una transición menos brusca, y presenta una solución relativamente asequible para sortear estos escollos. Además, permitirá darle una salida a todos los vehículos que ya no puedan circular debido a las restricciones, pero que se encuentren en buen estado general y por tanto puedan ser objeto de una modernización.

1.3 CONCEPTO DE RETROFIT

Retrofit

“to provide a machine with a part, or a place with equipment, that it did not originally have when it was built.” [5]

(acondicionamiento en español) es la técnica aplicada en ingeniería para la actualización de sistemas antiguos mediante la adición de nueva tecnología o nuevas características.

En nuestro caso cuando hablemos de Retrofit, se empleará según la siguiente definición:

“Se entiende como Retrofit a la práctica de convertir un coche de combustible tradicional (diésel o gasolina) a híbrido o eléctrico. Por supuesto, esto también es aplicable a las tecnologías del coche. En otras palabras, se trataría de la modernización de coches ya existentes.” [6]

En un informe de Ademe (siglas de Agencia Europea de Medio Ambiente), se estudia el retrofit eléctrico desde la óptica del método LCA (Life Cycle Assessment), es decir, el análisis del ciclo de vida que tiene en cuenta el CO₂ emitido durante la fabricación de un nuevo coche eléctrico. De los tres escenarios estudiados, el retrofit es significativamente menos contaminante que un coche diésel y la compra de un vehículo nuevo.

Categorías de vehículos	Reducción de emisiones de CO ₂ respecto a la fabricación de un coche Diesel	Reducción de emisiones de CO ₂ en comparación con la fabricación de coche Gasolina
Coches urbanos	66%	47%
Furgonetas y vehículos comerciales ligeros	61%	65%
Vehículos pesados	87%	37%

Tabla 1. Reducción de Emisiones de un vehículo electrificado respecto a un vehículo nuevo.

Nota: Adaptado de un informe de ADEME®.

El retrofit forma parte de una lógica economía circular donde lo viejo se renueva, transforma, recicla para que perdure en el tiempo. Esta solución da una segunda vida a estos vehículos. [7]

1.4 OBJETIVOS AGENDA 2030

Los objetivos marcados por la ONU y en especial la Unión Europea promueven una transición a un modelo energéticamente sostenible. El objetivo es facilitar esta transición, haciéndola más asequible y por lo tanto fácil de adoptar. Si se implementase el estudio que se llevará a cabo, se estarán atajando los siguientes objetivos de la Agenda 2030 de la Unión Europea:

7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE



“Los motores de gasolina pueden llegar hasta el 25% de rendimiento ya que el 75% restante se pierde en forma de calor durante el proceso y en los de diésel llegan hasta un 40%. En los coches eléctricos la eficiencia energética del motor podría llegar a ser hasta del 98% ya que no hay procesos de combustión y las partes móviles del mismo son mínimas.” [8]

1. *Objetivo 7- Energía sostenible y No contaminante*

9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA



No solo estudiamos la conversión del vehículo de combustión interna (en adelante ICV), sino el desarrollo de este proceso a gran escala que hace accesible la movilidad eléctrica para el consumidor medio, haciendo del sector de la automoción uno más sostenible.

2. *Objetivo 9: Industria, innovación e Infraestructura sostenible*

11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES



“Por primera vez, un organismo público ha dado a conocer el dato que muchos esperaban: el porcentaje de ahorro de CO2 emitido a la atmósfera que supone un coche eléctrico respecto a uno de gasolina. La respuesta es que, como promedio, los vehículos de baterías emiten un 30% menos de contaminantes al aire.” (1 de Julio de 2020) [9]

3. *Objetivo 11- Ciudades y comunidades Sostenibles*

12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES



La aplicación de Retrofit alarga la vida útil de componentes del vehículo (reduciendo así los residuos generados por la industria), además de aportar una gestión apropiada de los componentes desechados del vehículo de combustión.

4. *Objetivo 12. Producción y Consumo Responsable*

13 ACCIÓN POR EL CLIMA



El sector transporte representa el 25% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en España, y casi el 40% de las emisiones de los sectores difusos.

Por modos de transporte, la carretera representa casi el 95% de las emisiones, mientras que la contribución de otros modos de transporte es bastante más minoritaria. [10]

5. *Objetivo 13. Acción por el Clima*

1.5 ESTADO DEL ARTE

Para diseñar nuestro Sistema de Producción, debemos tener en cuenta que existen infinidad de configuraciones distintas de vehículos, debido a que cada fabricante oferta varias líneas de productos, varios modelos de cada línea y una gran suma de especificaciones, añadidos y características que pueden variar a gusto del consumidor.

Esta enorme variabilidad presenta un gran impedimento, ya que complica en gran medida la estandarización del sistema y el proceso productivo, debido a la singularidad de cada caso y a su probable estudio independiente. Quizás, sea este, el mayor problema al que se enfrenta este TFG.

Para superar el escollo de la variabilidad, tomaremos varios modelos de referencia para nuestra planta, que servirán de base de estudio, pudiendo luego abrir el catálogo haciendo el proceso análogo para otros modelos.

Por otra parte, debemos contar también con los trámites legales como parte de nuestro sistema productivo, y aunque estos se realizan en paralelo a la producción, quizás los tiempos de obtención de dichos permisos y homologaciones superen a los tiempos de ciclo del sistema.

La respuesta a qué modelos escoger, se responderá más adelante. Antes de eso definiremos cómo planteamos el modelo de negocio:

Inicialmente, se pensó en el proceso como un servicio de cara al cliente. Usuarios que ya disponían de uno de los modelos que son convertibles en nuestra planta podrían contratar el servicio de Retrofit para obtener un EV a partir de su propio vehículo particular. Este modelo presenta la venta de un servicio, por lo que los inventarios son mínimos ya que los productos que se trabajan no son parte de la empresa en ningún momento. Así, la inversión inicial no parece ser mayúscula, pero quizás presente problemas la programación de producción, ya que se debe satisfacer el tiempo estimado proporcionado a cada cliente.

A partir de este planteamiento, y una vez que se decidió que el proceso debía disponer de varios modelos de vehículos, apareció el segundo modelo de negocio, que se centra en la venta de EV directamente a los clientes finales.

Por un lado, se tendrá un equipo de compras o se establecerán relaciones con algún proveedor de vehículos de 2ª mano para que entren en el proceso. Una vez realizada la conversión, estos EV se pondrán a la venta para que sean adquiridos por usuarios, sin que sean estos los que traigan el vehículo inicial.

Este modelo permite escalabilidad, pero supone la aparición de inventarios en proceso, stocks y un precio de venta notable, ya que deben de incluirse los costes de adquisición de vehículos. La suma de estos factores dispara los costes de inversión y encarece el proceso.

Este modelo supondría la venta de un producto, y no de un servicio. Esto puede ser beneficioso si se consigue un producto atractivo con ventas elevadas, pero podría limitar la producción al ser obviamente el producto bastante más caro que si hablásemos solo del kit de Retrofit y su instalación.

Por ende, tras analizar los dos modelos de negocio que hemos identificado, se ha decidido atender al modelo inicial, ya que de lo contrario no cumpliríamos con los objetivos marcados por el TFG, y la viabilidad del proyecto sufre debido a los grandes costes de inversión.

1.5.1 Horizonte de Estudio

Se ha decidido estudiar en conjunto el proceso completo, prestando más atención al proceso productivo, factores logísticos, económicos, y legales cuyo estudio abarca mi mención del grado.

Es por esto por lo que se dividirá el estudio en 3 áreas diferenciadas del proyecto:

Ingeniería Básica: Descripción del proceso de conversión, diseño y dimensionado del sistema y logística inversa de los componentes desechados del vehículo original.

Económico: Análisis de viabilidad de la planta, estudio de costes para el cliente final y para el promotor del proyecto.

Legal: Detalle de toda la regulación que deberá presentarse para homologar el producto final, así como comparativa de la legislación vigente en España respecto a la homónima en otros países de la EU.

1.5.2 Conclusiones Iniciales

Por lo tanto, a lo largo de este TFG se intentará arrojar luz sobre el estado actual de la tecnología de movilidad eléctrica, describir generalmente qué se necesita para realizar una conversión a vehículo eléctrico, y cómo puede integrarse este proceso en un sistema productivo industrializado, y se realizará un análisis la legislación pertinente y necesaria a superar para que el producto de nuestra planta sea viable y pueda llegar al consumidor final.

La motivación principal de este TFG es la sostenibilidad. Este es el por qué de la idea, más allá de modelar una propuesta de valor rentable, se trata de ofrecer soluciones a los problemas presentes de la industria, aportando una solución respetuosa con el medio ambiente y asequible para el consumidor que aun queriendo optar por la movilidad sostenible, su precio le impide acceder al mercado.

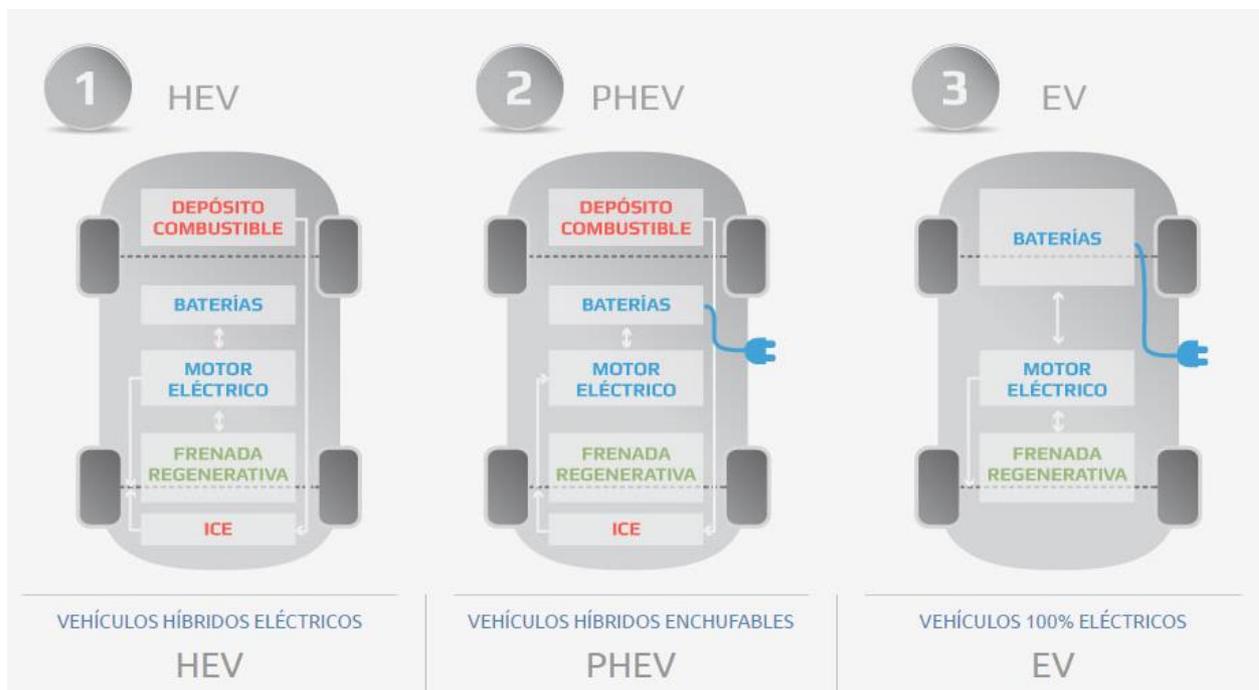
2 LA MOVILIDAD ELÉCTRICA Y EL RETROFIT

2.1 INTRODUCCIÓN A LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

¿Qué es lo que define propiamente a un vehículo eléctrico?

Es aquel que es movido parcial o totalmente por energía eléctrica, en lugar de por la clásica energía térmica generada en un motor de combustión de combustible. En el segmento de mercado de los vehículos eléctricos (en adelante EV por sus siglas en inglés, véase figura 6) podemos encontrar, además del vehículo 100% eléctrico, los híbridos auto recargables (denominado HEV en la figura 6) y los híbridos enchufables (PHEV en la figura 6), en nuestro estudio nos referiremos a los vehículos que son movidos exclusivamente por Batería y Motor eléctrico (EV en la figura 6).

Esta clasificación se recoge en “Manual de Reformas 7ª Revisión, SECCIÓN: I GRUPO: 2 (2.11) Unidad Motriz. (s.f.). Página 3 de 3” y se incluye este documento en Anexos.



6.. Tipos de Vehículos Eléctricos.

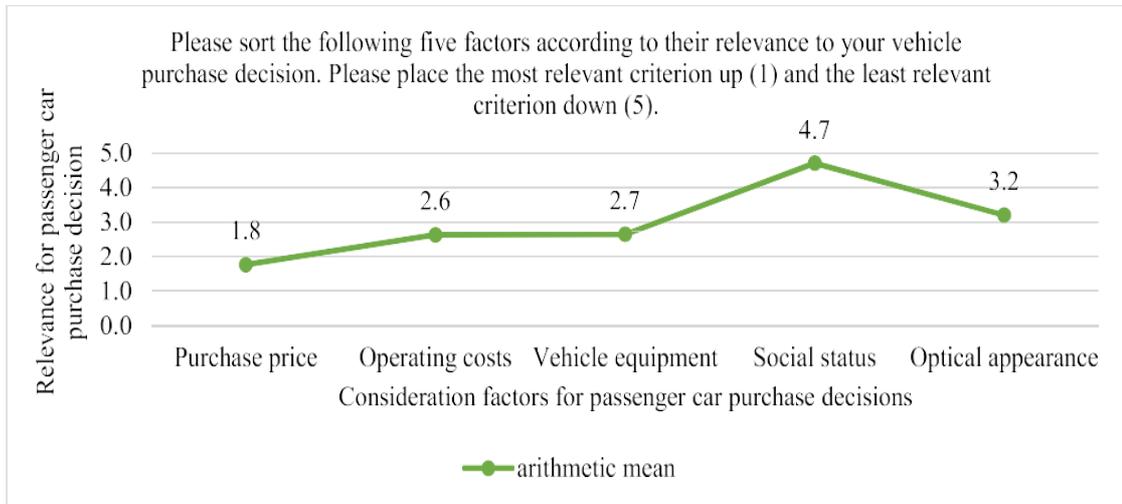
2.2 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Una vez conocemos qué es un EV, la lógica nos impulsa a resolver la siguiente pregunta:

¿Quién querrá un “Retrofitted Electric Vehicle”? (un vehículo eléctrico que ha sido convertido, en adelante REV).

Para acotar el mercado, es necesario saber qué especificaciones deben de cumplir nuestros vehículos, y para esto necesitamos saber qué necesidades tienen los consumidores. ¿Por qué se inclinaría alguien por un vehículo “Frankenstein” de segunda mano, en lugar de un flamante EV recién salido de fábrica?

Presumiblemente, este motivo podría ser el precio, aunque los consumidores tienen en cuenta varios factores a la hora de adquirir un vehículo nuevo. Para esclarecer nuestras prioridades (y las de nuestros consumidores), recabamos información de estudios sobre las tendencias de los usuarios a la hora de comprar un coche.



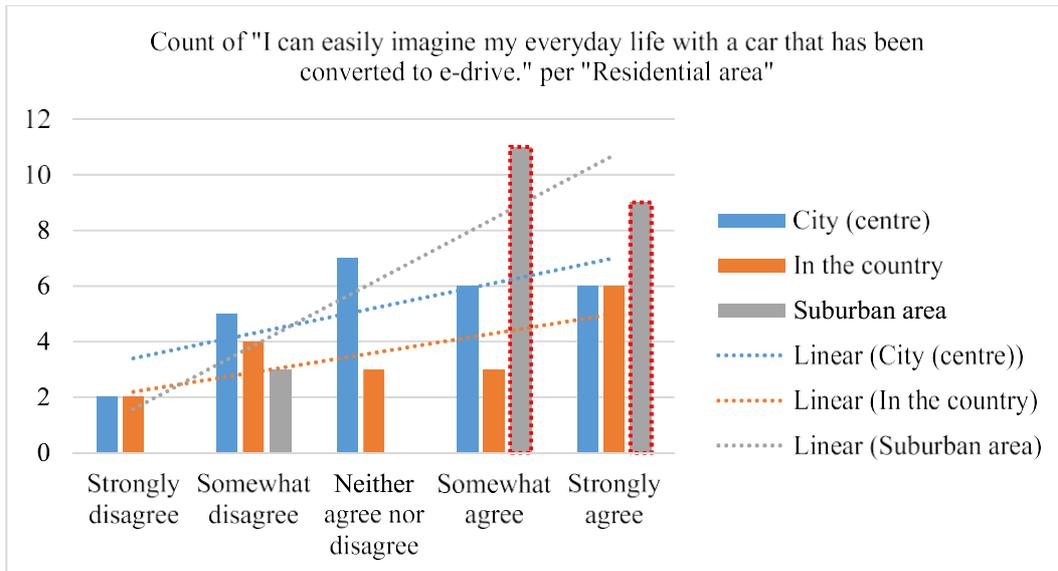
7. Factores relevantes a la hora de adquirir un vehículo

Fuente: "Internal combustion engine to electric vehicle retrofitting: Potential customer's needs, public perception and business model implications", Fabian Hoeft, [11]

En la "ilustración 7" podemos apreciar que en los juicios de valor que realizan los clientes a la hora de adquirir vehículos, el Precio es, de manera global, el factor determinante.

Ahora debemos comprender qué franjas de la población estarían dispuestas a adquirir un REV, y los motivos que los impulsan. En la figura 8 se representa lo dispuestos que los encuestados a esto.

En esta última podemos comprobar que el tipo de cliente que más disponibilidad nos presenta será un conductor de una familia urbana, en la que se realicen muchos kilómetros diarios, y que puede inclinarse por un REV si conseguimos un precio competitivo.



8. Openness to the daily use of car electrification - Residential area.

Fuente: "Internal combustion engine to electric vehicle retrofitting: Potential customer's needs, public perception and business model implications", Fabian Hoeft, [11]

En lo respectivo al uso diario al que será sometido nuestro vehículo, según los datos de la Encuesta de Movilidad del INE (Instituto Nacional de Estadística) de 2019, la media de kilómetros que una persona de la población activa y que vive en ciudades conduce al día es de alrededor de 19,7 kilómetros. Además, de la misma encuesta se obtiene que el 7,4% de las personas que utilizan el coche como medio de transporte para ir a trabajar recorren más de 30 kilómetros al día en trayectos de ida y vuelta (INE, 2019, p. 12).

Por lo tanto, nuestros clientes objetivos serán clientes que tienen unos requerimientos de vehículo urbano, no superando en ningún caso los 100km diarios, y en tal caso escogiendo transporte alternativo como tren o avión.

Por otra parte, el precio será el principal atractivo para decantar a un consumidor por un vehículo, así como el valor añadido del producto (sostenibilidad, plan de amortización y mantenimiento). También tenemos en cuenta que será importante el equipamiento y la estética del vehículo, aunque estos aspectos escapan en parte a nuestro horizonte de estudio.

Una vez conocemos qué clientes pueden sentirse atraídos por nuestro producto, reparamos en que existen innumerables marcas y modelos.

¿Puede convertirse cualquier modelo de vehículo?

La respuesta es que sí (a nivel mecánico), pero se infiere rápidamente que existen modelos que se ajustan mejor en coste y especificaciones al modelo de vehículo que deseamos producir.

Además, como se verá en puntos posteriores, hay segmentos de vehículos que se ajustan mejor al estado del arte del coche eléctrico actual. Serán estos modelos en los que nos centraremos a la hora de que sean objeto del Retrofit.

2.3 CARACTERÍSTICAS OBJETIVO DEL PRODUCTO: RETROFIT WINDOW

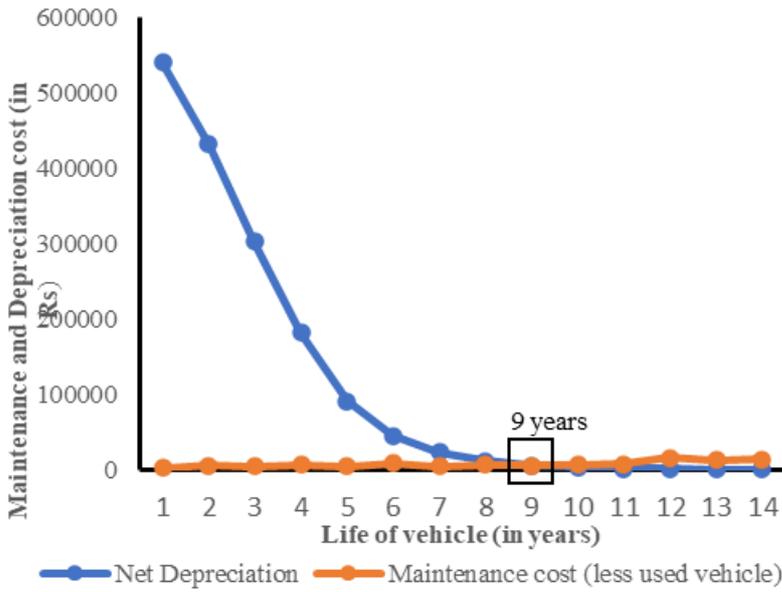
Una vez obtenidas las necesidades del consumidor, y consecuentemente las especificaciones que debemos responder a la otra parte de la cuestión del punto anterior.

Hemos concretado que hay ciertos modelos que serán más eficientes, pero un mismo modelo puede tener kilometrajes, edades y usos distintos. ¿Influye esto a la hora de realizar la conversión?

La respuesta a esta pregunta se esconde en la curva de depreciación y amortización del vehículo.

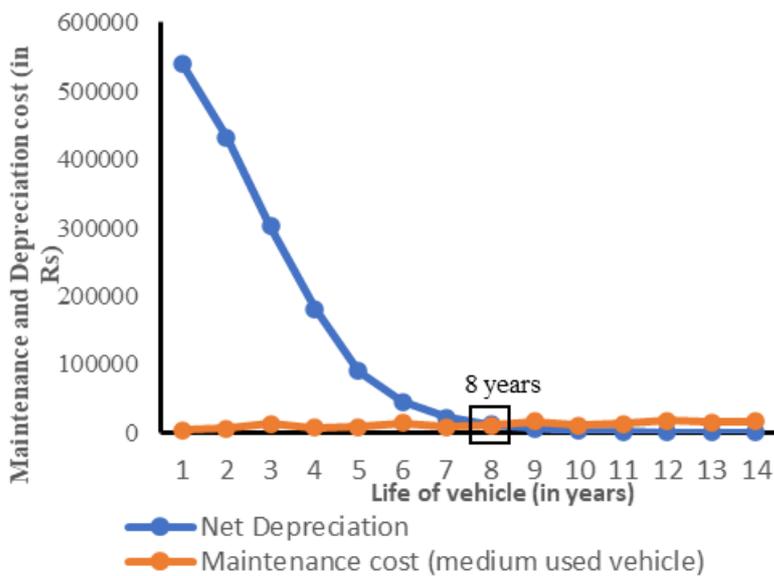
Los componentes de un ICV se deprecian a lo largo de su vida útil, bien por transcurso de tiempo natural o bien por su uso (comúnmente conocido como kilometraje). Distintos componentes se deprecian a distintas velocidades. Así, la correa de distribución, por ejemplo, tiene una vida útil muy superior a las pastillas de freno, pero a su vez la carrocería tiene de media una vida útil superior a ambas.

En términos generales, puede realizarse una aproximación de la amortización global de un vehículo, dependiendo del uso diario que se le dé al mismo. En las ilustraciones "9, 10 y 11" se ofrece una curva de depreciación dependiendo del kilometraje y el coste de mantenimiento del vehículo.:



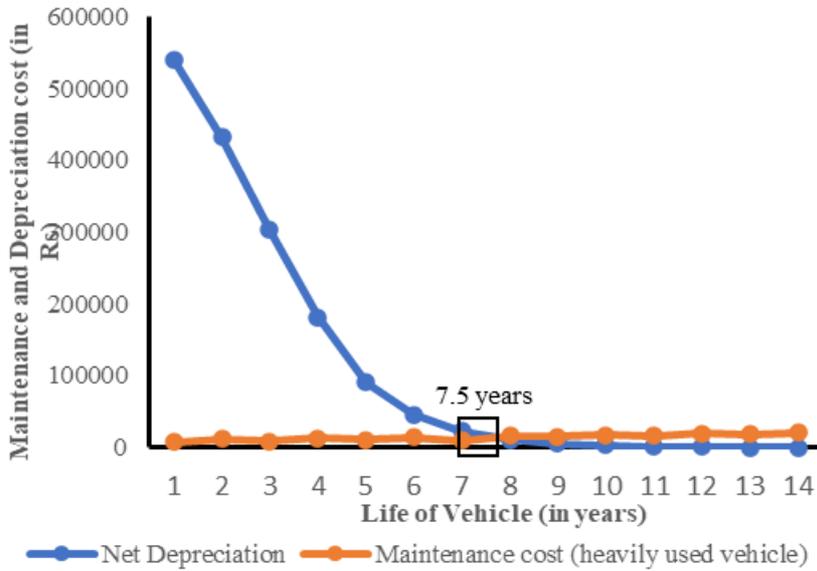
9. Depreciación y costes de mantenimiento de un vehículo de cuatro ruedas operado en torno a 20 km diarios.

Fuente: "Analysis of critical issues in retrofitting of ICE vehicles", P. I. College of Engineering y I. Army Institute of Technology Pune, 2021. [12]



10. Depreciación y costes de mantenimiento de un vehículo de cuatro ruedas operado en torno a 40 km diarios.

Fuente: "Analysis of critical issues in retrofitting of ICE vehicles", P. I. College of Engineering y I. Army Institute of Technology Pune, 2021. [12]



11. Depreciación y costes de mantenimiento de un vehículo de cuatro ruedas operado en torno a 60 km diarios.

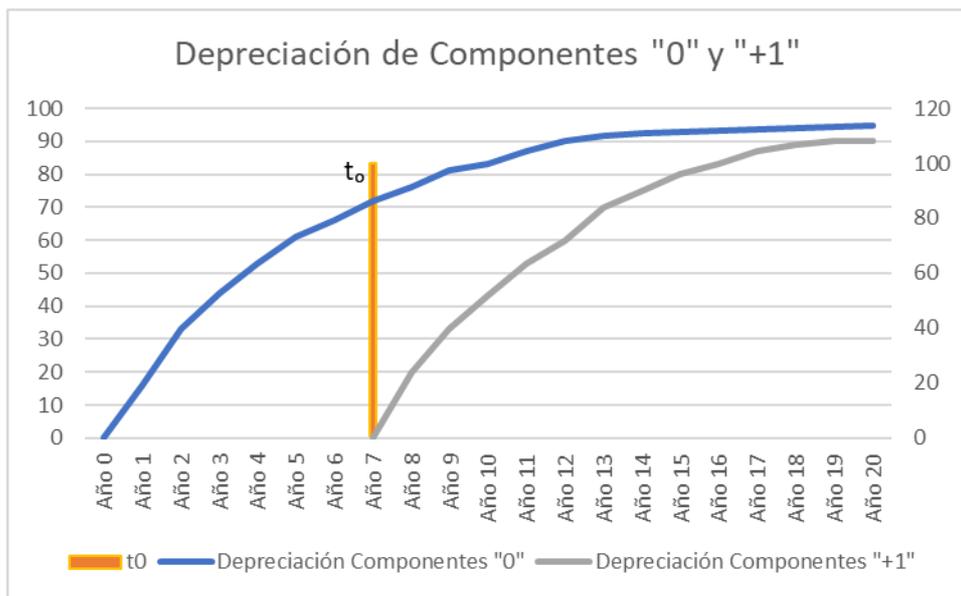
Fuente: "Analysis of critical issues in retrofitting of ICE vehicles", P. I. College of Engineering y I. Army Institute of Technology Pune, 2021. [12]

2.3.1 Concepto de Retrofit Window

Las "figuras 9, 10 y 11" representan el ciclo de vida del vehículo y la depreciación que sufren debido al uso y el tiempo (diferenciando entre ellas el uso diario al que se someten vehículos de cuatro ruedas).

La edad de adaptación más eficiente será esta en la que los componentes que vamos a desechar se han depreciado lo suficiente como para haber sido amortizados, teniendo además en cuenta que los componentes que se mantienen en el vehículo tienen todavía periodo de vida útil suficiente para equipararse con el de los componentes eléctricos a incorporar.

Esto se ejemplifica en la ilustración 12:



12. Depreciación de componentes en un instante t0.

Nota: Elaboración propia

En la ilustración 12 se aprecia como al realizar Retrofit en un instante temporal "t0", los componentes "+1" (componentes nuevos incorporados) inician su curva de depreciación, mientras

que los componentes “0” (componentes que se mantienen en el vehículo) continúan con su curva de depreciación.

Esta notación se ha empleado a la hora de diseñar el proceso, y se explicará nuevamente en el punto 3 de este mismo TFG.

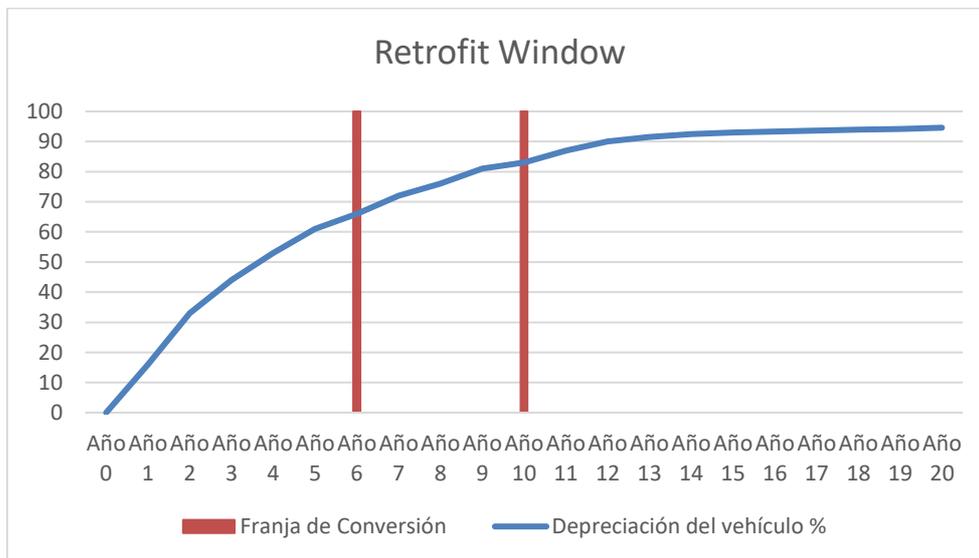
El eficiente será que el tiempo de vida útil restante del componente “0”, sea igual o mayor al tiempo de vida del componente “1”, amortizando así los componentes que instalamos.

Es por eso que realizar Retrofit demasiado pronto provoca que no se amorticen lo suficiente los componentes “-1” (los que sí se extraen) (Ej: Te compras un coche y al mes siguiente le cambias un motor nuevo por un eléctrico. Esto carece de sentido).

Por el contrario, si se realiza el Retrofit demasiado tarde, los componentes que se mantienen estarán demasiado deteriorados, dando lugar a un coche viejo con componentes muy nuevos (Ej: Una dirección de 30 años que funciona mal con un motor nuevo, tampoco tiene mucho sentido).

Este concepto es denominado “Retrofit Window”, o ventana de conversión, en español.

Se ejemplifica en la “ilustración 13”.

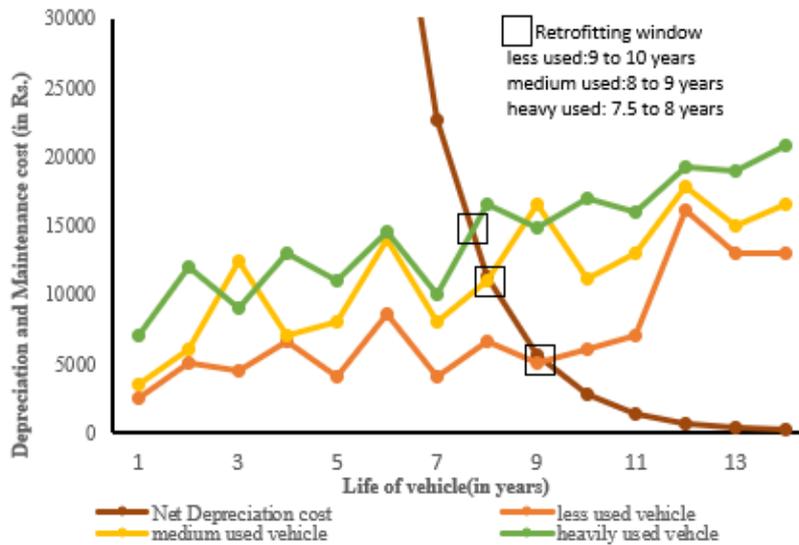


13. Retrofit Window según la depreciación de un vehículo en años.

Nota: Elaboración propia.

Esta ventana depende No sólo del uso diario (uso diario del vehículo), sino también de la edad natural de los componentes (años desde su fabricación) y del trato que reciba el vehículo (siendo este un factor muy variable y complejo de estudiar).

En la figura 14, y en su tabla resumen “tabla 2”, se muestra la edad de adaptación sugerida para un vehículo de cuatro ruedas en función del uso al que han sido sometidos. El punto eficiente para el vehículo menos utilizado se encuentra entre la edad de 9 a 10 años, 8 a 9 años para el medio utilizado y 7.5 a 8 años para un vehículo de cuatro ruedas muy utilizado. [13]



14. Comparativa de la depreciación de un vehículo respecto a su ciclo de vida

Nota: Adaptada de "Analysis of critical issues in retrofitting of ICE vehicles", Rajlaxmi Darekar, 2021. [13].

	N.º Years	Average Km
Having a daily run of 20 km/day	9	65,000
Having a daily run of 40 km/day	8	115,000
Having a daily run of 60 km/day	7.5	160,000

Tabla 2. Amortización según el uso diario.

Nota: Elaboración Propia a partir de la siguiente referencia [13]

Por lo tanto, será conveniente realizar Retrofit en la franja anterior, es decir, a vehículos en el rango de 7 a 10 años como máximo, debiendo descartar así vehículos demasiado jóvenes (< 7 años) y vehículos demasiado viejos (>10 años).

2.4 CONCLUSIONES RESPECTO AL PRODUCTO

El kit de conversión y el desmontaje de los elementos requiere que se acoplen los sistemas incorporados a la automática y electrónica del vehículo, así como que se instalen las protecciones pertinentes al nuevo sistema eléctrico. Esto requiere de un proceso productivo, que se deliberará posteriormente el cómo se llevará a cabo, debido a las limitaciones de clientes potenciales,

Una vez tenemos los clientes que estarán dispuestos a comprar nuestro producto, las necesidades que deben satisfacerse, y a qué rango de vehículos podemos optar, analizaremos qué modelos ofrecen más oportunidades al Retrofit dentro de los requisitos económicos y materiales del cliente.

Se ha realizado un estudio de mercado en el que se analizan numerosos modelos y sus ventas de años anteriores para obtener un número de vehículos que podrían ser susceptibles a una conversión, y por tanto parte de nuestro proceso. En el anexo se adjunta el proceso completo, aunque sí es reseñable comentar las siguientes tablas:

Modelos que estudiar ¹	N.º Apariciones en Top 10	Peso Medio (KG)	Ventas 2013	Ventas 2014	Ventas 2015	Ventas 2016	Ventas 2017	Ventas 2018	Ventas 2019	Total, Unidades
Seat Ibiza	5	1065	23152	31.418	27562	31936	33.802	31.474	25.134	174125
Opel Corsa	6	1.165	20090	20708	23371	26904	26.750	22.847	22.352	163022
Volkswagen Polo	6	1.181	20284	20284	23803	25424	23.860	28.170	19.717	161542
Renault Clio	5	1.178	19958	23.022	20698	25366	28.873	28.798	25.555	149248
Dacia Sandero	4	1.115	N/D	25.338	20936	25070	26.794	31.121	33.882	137803
Peugeot 208	4	1.177	N/D	N/D	N/D	21596	20.943	20.742	21.205	84486
Citroën C3	4	1.105	N/D	N/D	N/D	12674	19.982	20.801	21.650	75107
Fiat 500 (urban)	3	940	N/D	10735	N/D	13261	N/D	26.997	17.295	68288
Hyundai I20	3	1.088	N/D	N/D	N/D	N/D	12.078	12.743	10.674	35495
Ford Fiesta	3	1.110	N/D	N/D	N/D	12466	10.900	11.580	N/D	34946

Tabla 3. Ventas Anuales de vehículos Utilitarios

Nota: Elaboración Propia a partir de distintas referencias [13, 14, 15, 16,17, 18]

A partir de los datos anteriores, se realiza una segunda iteración los modelos que mayor número de apariciones en el ranking, y por lo tanto, mayor número de unidades en circulación. Se ha valorado en especial que la mayoría de las unidades se encuentren en una franja de edad de entre 6 y 10 años, siendo este el rango de edad del vehículo óptimo para la realización de Retrofit que se definió en el punto anterior.

Se ha realizado un estudio de mercado en el que se analizan numerosos modelos y sus ventas de años anteriores para obtener un número de vehículos que podrían ser susceptibles a una conversión, y por tanto parte de nuestro proceso. En el anexo se adjunta el proceso completo, aunque sí es reseñable comentar las siguientes tablas:

¹ Se ha tenido en cuenta el número de veces que el modelo ha entrado en el top 10 de ventas anuales en España, siendo así "N/D" en la tabla distintivo de la ausencia de ese modelo en dicho ranking

Modelos estudiar	que	N.º Apariciones en Top 10	Peso Medio (KG)	Ventas 2013	Ventas 2014	Ventas 2015	Ventas 2016	Ventas 2017	Total, Unidades
Seat Ibiza		5	1065	23152	31.418	27562	31936	33.802	117517
Opel Corsa		6	1.165	20090	20708	23371	26904	26.750	117823
Volkswagen Polo		6	1.181	20284	20284	23803	25424	23.860	113655
Renault Clio		5	1.178	19958	23.022	20698	25366	28.873	94895
Fiat 500 (urban)		3	940	N/D	10735	N/D	13261	N/D	23996
Dacia Sandero		4	1.115	N/D	25.338	20936	25070	26.794	72800

Tabla 4. Segunda Iteración en la Selección de los Vehículos

Nota: Elaboración propia a través de la "Tabla 3".

Nótese que se han retirado los datos de los años 2018 y 2019, tras no aportar relevancia debido a que estos vehículos entrarían en el periodo óptimo de Amortización para poder realizar la conversión.

De esta segunda iteración, tras haber eliminado varios modelos, se escogen finalmente el Seat Ibiza, Opel Corsa y Volkswagen Polo por la uniformidad y volumen en las ventas. Además, se incluye también el Fiat 500 por haber sido objeto de previas conversiones, y por su diseño ligero y "Premium".

A pesar de no tener un número de unidades comparable a los demás, la presencia de Kits de conversión facilitará en gran medida la realización del proceso para este vehículo.

2.5 BENCHMARKING Y DIMENSIONADO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PRODUCTO

Además, la selección de vehículos ofrece una ventaja, y es que las casas disponen de modelos eléctricos en el mercado con prestaciones muy similares a las que ofrecen estos vehículos de combustión, por lo que se podrán comparar prestaciones y precios con la alternativa de eléctrica de fábrica.

Así, procedimos a la realización de benchmarking para obtener las características principales que requieren nuestros componentes:

Modelo de Vehículo	de	Par Motor (Nm)	Potencia (CV)	Potencia (kW)	Velocidad (Km/h)	Carga Nominal (Kg)	Consumo Medio WLTP	Precio (€)
SEAT Mii electric		212	83	61	130	1235	14,4	17.730,00
Volkswagen E-UP		210	83	61	130	1235	14,5	22.585,00
FIAT 500e		220	95	70	135	1300	13	26.150,00
FIAT 500e +		220	118	87	150	1440	14	37.900,00
MINI Cooper SE		190	184	135	150	1440	15,5	33.950,00

Tabla 5. Benchmarking motores de vehículos eléctricos Utilitarios.

Nota: Elaboración propia a partir de las siguientes referencias [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26]

Existen múltiples tipos de motores eléctricos, por lo que en primera instancia buscamos hallar el tipo de motor que más eficiencia nos ofrece para las condiciones a las que estará sometido.

De la tesis doctoral "*LAYOUT FOR RETROFITTING AN ELECTRIC VEHICLE (Dr. Himani Mazumder, 2015)*" [15] en la que se realiza una comparativa de tipos de motores para su uso como parte de vehículos, extraemos las siguientes conclusiones:

Los motores de corriente continua con escobillas alcanzan un par motor alto a revoluciones bajas, lo cual hace que el coste de conducción sea menor. Este tipo de motor emplea corriente continua (en adelante CC), lo cual facilita la instalación eléctrica (ya que las baterías almacenan energía en CC). La eficiencia energética de este motor ronda el 80%, y para un motor de 100 Kw el peso sería de unos 70 kg. El principal problema son las escobillas y su mantenimiento, además del tamaño del propio motor.

Debido a esto, descartamos el motor de escobillas.

Los motores de Imanes permanentes tienen un diseño compacto, durable y con poco mantenimiento al no tener escobillas. Para un motor de 100 Kw, la eficiencia de este motor es del 90% y su peso de alrededor de 35 Kg.

Este motor satisface nuestros requisitos, pero su principal problema es el precio. Los imanes de este motor deben de ser de alta calidad para garantizar la fiabilidad en su vida útil, por lo que emplean metales raros que encarecen su fabricación.

Por esto último se descarta este tipo de motor.

Los motores de inducción (IM Induction Motors por su traducción al inglés) son motores asíncronos de corriente continua que funcionan con los principios del electromagnetismo (ley de Faraday-Henry). Son conocidos por su bajo mantenimiento y durabilidad. Su eficiencia oscila entre un 90-95% y para un motor de 100 Kw pesa alrededor de 45 Kg.

El problema que presentan estos motores es que el par inicial es muy bajo y sube conforme aumentan las revoluciones. Esto hace necesario el uso de un controlador para proporcionar un par motor aceptable que mueva el vehículo, además de tener en cuenta de que hablamos de un motor que funciona con corriente alterna.

A pesar de las posibles desventajas del motor de inducción, es el más empleado hoy en día por la industria automotriz eléctrica, por lo que al existir mayor oferta, elegiremos este último tipo de motor.

Sabiendo qué tipo de motor vamos a usar, debemos concretar ahora qué prestaciones debe tener para un dimensionado correcto. Para ello, se ha realizado un benchmarking, analizando el estado del arte del mercado y qué competidores podemos encontrar.

En la "tabla 5" expuesta anteriormente podemos localizar que los vehículos competidores disponen de un motor con una media de 50-70 kW de potencia y 210 Nm de par motor, que satisfacen las prestaciones técnicas del vehículo, por lo que este es el rango que se ajustará a nuestras especificaciones.

Si realizamos un proceso análogo las baterías de los modelos anteriores, obtenemos:

Modelo coche	de	Capacidad (kW)	Autonomía WLTP(Km)	Potencia Carga AC (kW)	Potencia Carga CC (kW)	Tiempo Carga (min) ²
SEAT electric	Mii	36,8	259	7	40	60
Volkswagen E-UP		36,8	258	7,2	40	60
FIAT 500e		23	190	11	50	35
FIAT 500e +		42	320	11	85	35
MINI Cooper SE		32,6	234	11	50	35

Tabla 6. Benchmarking baterías de vehículos eléctricos Utilitarios.

Nota: Elaboración propia a partir de las siguientes referencias. [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26]

Historicamente, las baterías más extendidas y comercializadas (abarcando todo mercado, no solo el de los EV) son las de iones de litio.

Si bien, este sector esta experimentando un desarrollo fulgurante debido a la creciente demanda de baterías, cada vez más longevas y sobre todo con mayor densidad de carga.

Es por esto que están emergiendo baterías basadas en iones de Sodio principalmente, además de otras baterías basadas en otros materiales (principalmente ferromagnéticos) que permitan la reacción en ciclos de vida prolongados. A pesar de que actualmente estas últimas ofrecen prestaciones inferiores (o precios menos competitivos a igualdad de prestaciones), a comienzos de este año 2023 se han lanzado vehículos íntegramente equipados con baterías de estado sólido (Solid State Batteries) o baterías de Ion Sodio, ya que el precio del litio se ha octuplicado en los 4 últimos años debido a la creciente demanda. [16]

El sector de las baterías está en una carrera tecnológica que intenta encontrar una batería que posibilite a los EV desprenderse de la necesidad de litio y de las “bajas prestaciones” (proceso contaminante, poca autonomía y precios elevados por kW). Una prueba de esto la encontramos en el siguiente extracto:

“Empresas como *EV Battery Rebuilds*® ofrecen baterías de sustitución para el Nissan LEAF con pack de 43 kWh. Un pack compuesto por 3 módulos con un total de 96 celdas en serie y 120Ah de capacidad compatible con las dimensiones del espacio donde se aloja la batería original, y que le proporcionan una autonomía real de unos 260 km. Todo con un coste de unos 9.500 euros. En cuanto a los extremos, la batería más barata es la del *Renault Zoe*®, con sus 163 euros el kWh alcanza los 8.476 euros para una capacidad útil de 52 kWh” [17]

Los precios por kWh de las baterías de los vehículos eléctricos todavía no han conseguido bajar de los 100€/kWh, siendo además en su mayoría cifras muy superiores (600€/kWh de media en el sector) [17]

Debido a los elevados precios, debemos precisar la autonomía de la que queremos dotar a nuestro REV, ya que suponen un gasto notorio que no conviene sobredimensionar.

² Tiempo de carga de 0% al 80% en Corriente continua

Así, necesitaremos un pack de baterías de media 30 kW para satisfacer la autonomía de nuestro cliente (100-150 km), aunque podrían estudiarse distintas capacidades, para ofrecer más autonomía o menor (incidiendo directamente en el precio final).

Nótese que a raíz de este Benchmarking se dimensionan los requisitos de autonomía (capacidad) y potencia de carga, pero en un sector en evolución y desarrollo masivo como es el de las baterías, cambien los datos drásticamente en un periodo de tiempo relativamente corto.

2.6 COMPONENTES A RETIRAR DEL VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN DURANTE EL PROCESO DE CONVERSIÓN

Una vez obtenidos los modelos, debemos preguntarnos ahora cómo se convierte un vehículo de combustión.

Lo primero por saber a la hora de convertir un coche a 100% eléctrico es qué necesitaremos. En este TFG se realizará una breve descripción de cada componente, sin entrar en detalle de requisitos específicos ni diseño de los mismos. El diseño y dimensionamiento se ha tratado con anterioridad en varios documentos citados en este TFG, por lo que no creemos sea necesario.



15. Ilustración de un Jaguar E type al que se le ha realizado Retrofit.

Fuente: Adaptada de la empresa Electrogenic Cars®. [14]



16. Interior de un Porsche GT convertido a EV

Nota: Adaptado de la página web de la empresa "Electrogenic Cars" [14]

Se adjuntan las ilustraciones "15 y 16" para mostrar cual es el resultado de una conversión. En estas ilustraciones, pueden apreciarse los interiores de los capós de dos vehículos clásicos que ha convertido la empresa británica "Electrogenic®"

En la "ilustración 16", pueden apreciarse claramente cómo están instalados respectivamente:

1. Motor eléctrico
2. Inversor
3. Controlador de baterías y Unidad de control del vehículo.

Cabe destacar que en este modelo las baterías fueron instaladas en el maletero, por lo que no son visibles en esta imagen.

Aunque hemos desvelado ya algunos componentes de un REV, procedemos a nombrarlos más incisivamente:

Habiendo visto ya un producto finalizado, vamos a realizar una intruducción y descripción breve de los elementos deben retirarse del ICV, para luego incorporar todos los componentes propios del EV para obtener un REV con el de las ilustraciones anteriores:

2.6.1 Motor Eléctrico

Una vez establecidos los requerimientos en el punto 2.5, realizamos una búsqueda de mercado de los motores eléctricos que se ajusten al rango especificado anteriormente:

Cabe destacar dos asuntos en esta investigación de mercado:

- La oferta de motores eléctricos para vehículos que existe en Europa y américa es escasísima, teniendo precios muy elevados que hacen de que nuestro estudio se encarezca.

- La subida de precios debido a las condiciones materiales de los últimos meses (crisis de semiconductores, metales raros muy encarecidos, inflación y crisis energética) se ha visto reflejada en los motores eléctricos.

Aún así, en el mercado europeo, el motor que más se ajusta a nuestras especificaciones es el NexGen Hyper 9. A pesar de que quizás esté sobredimensionado, disponemos de información al respecto al haber sido estudiado en otros TFG (Banegil Collado, Tomás Manuel 2021).

Al indagar en el mercado asiático, encontramos un abanico tanto de gama como de precios mucho más amplios, ajustándose más a nuestros requerimientos tanto de coste como de especificaciones. Aunque sean más favorables para nuestro proyecto, debido a la falta de información acerca de estos productos, se continuará con el NexGen Hyper 9.

2.6.2 Sistema de Baterías

Otro componente clave y genuino de un EV es el sistema de baterías. Estas son el reservorio de energía eléctrica del EV.

Ya que las baterías representan directamente la autonomía del vehículo, y en el punto 2.2 se llegó a que los clientes potenciales No requieren más de 100-150 Km de autonomía diaria, se refleja en los comentarios de la “tabla 6” las necesidades de potencia y capacidad de las baterías

Las baterías se instalarán en el capó y en la parte del depósito de combustible, para mantener y balancear el peso del vehículo de tal modo que varíe lo menos posible el centro de masas respecto al original. Esto se explicará posteriormente más en detalle en la sección 3 de este TFG.

2.6.3 Placa Adaptadora

Este elemento no se incluye en un EV de serie, por lo que junto con los soportes son elementos incorporados que debemos diseñar para que nuestro vehículo funcione correctamente. Esta es en enlace único para juego de Motor y caja de cambios, por lo que para cada modelo de vehículo originario deberemos diseñar su propia geometría de Placa adaptadora.

“Uno de los aspectos más importantes en la conversión es como conectar la caja de cambios al nuevo motor eléctrico. Esto se hace normalmente con una placa adaptadora que ajusta en ambas caras de la caja de cambios y el nuevo motor.



Esta placa se tiene que diseñar y fabricar con una muy alta precisión, ya que la geometría de la transmisión puede peligrar si hubiera errores. Hay fabricantes que venden ya placas terminadas y probadas. La otra opción costaría más tiempo, pero puede ser más barata, y es diseñarla uno mismo.” [18]

17. Placa Adaptadora instalada en el Motor eléctrico

Fuente: “Elektrum Cars©”, [18]



18. Ensamble Motor Placa Caja Cambios.

Nota: Adaptado de documento "DISEÑO DE LOS SOPORTES MOTOR Y ACOPLÉS DE TRANSMISIÓN PARA LA CONVERSIÓN DE UN MAZDA MX5 A VEHÍCULO ELÉCTRICO" Tomás Manuel Banegil Collado, 2021.

2.6.4 Soportes del Motor:

Los soportes permiten colocar en los mismos anclajes del motor original a nuestro motor eléctrico. Así la instalación se vuelve más sencilla, la homologación más accesible, y además se amortiguan las vibraciones que provoque el motor para una conducción más cómoda.

Deben ser diseñados y mecanizados, y al igual que la Placa adaptadora, son exclusivos para cada modelo de vehículo, por lo que debemos de contar con un diseño por línea de producto con Retrofit.

Corresponden a los elementos señalados en rojo en la "ilustración 18".

2.6.5 Sistema de Gestión de Baterías:

El sistema de Gestión de Baterías (por sus siglas en inglés BMS)

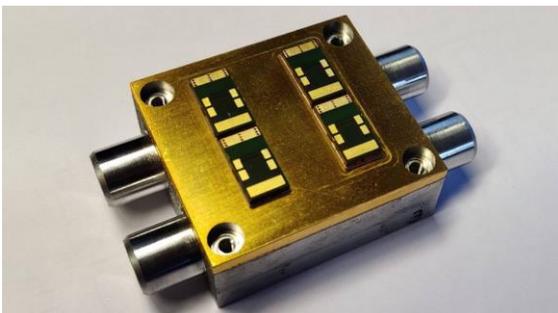
Incluiremos tanto el sistema de gestión electrónico como el sistema de climatización de la batería.

Este sistema hoy en día viene instalado con los paquetes de baterías o en su defecto en el inversor de corriente, por lo que se corresponde a un controlador tradicional que gestiona la carga y descarga de cada módulo de nuestro paquete.

2.6.6 Inversor/Convertidor

El convertidor de corriente cumple dos funciones esenciales. Si la energía de la fuente de carga es corriente alterna, el convertidor transforma la corriente alterna en corriente continua, ya que la batería del vehículo acumula la corriente en forma de continua. El convertidor también transforma la corriente alterna obtenida en las frenadas regenerativas. [19]

Muchos convertidores vienen de serie acoplados en sistemas con motores para que funcionen de manera eficiente, aunque también es posible su instalación por separado.



19. Ilustración de un Inversor de EV

Nota: Adaptada de "El Confidencial", 2021,[22]

2.6.7 Unidad de Control

Como en cualquier sistema electrónico, la Unidad de Control electrónica (por sus siglas ECU en inglés) es el elemento responsable de gestionar el funcionamiento de todo el motor eléctrico.

Se encargará de recibir la señal de aceleración del sistema, y estar conectada a todo el sistema electrónico de nuestro vehículo original y a los sensores originarios del vehículo, tanto de conducción propios, como de seguridad y confort.

El módulo electrónico recibe las órdenes del conductor y de los sensores, que luego son leídas y procesadas para controlar el sistema de propulsión.

2.6.8 Sistema Aceleración

Traduce el comportamiento del acelerador (actuador) en una señal eléctrica.

Sistema que emplea como insumo corriente eléctrica alterna de la red para mediante el inversor, almacenarla como corriente continua en las baterías. En caso de cargar desde un sistema de carga rápida la corriente entrante es directamente eléctrica.

2.6.9 Bomba de Vacío para el Servofreno Eléctrico:

Los ICV (vehículos Combustión Interna por sus siglas en inglés) tienen una bomba de vacío que ayuda a poder accionar el freno hidráulico aumentando la presión en el sistema de frenos. Para suplir este sistema que no está presente en los EV, se incluye un homónimo en versión eléctrica que supla esta función.



20. Bomba Vacío.

Nota: Adaptado de "Elektrum Cars©". [19]

2.6.10 Protecciones eléctricas:

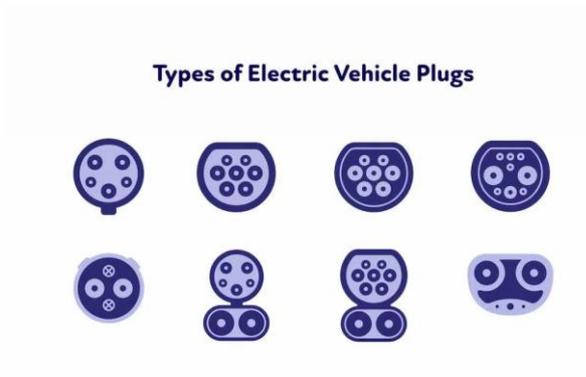
Toda la aparatenta³ necesaria para cumplir la norma de la instalación. Se incluyen tanto relés como fusibles e interruptores magnetotérmicos para accionar y proteger los componentes del vehículo y a sus pasajeros.

2.6.11 Sistema de Carga:

La conexión a la corriente eléctrica se realiza a través de la toma de carga. En este caso, un vehículo eléctrico puede contar con varias opciones de recarga, que dependerán del tipo de cargador usado. Para ello, será necesario que el vehículo equipe una toma para varios tipos de carga, a fin de que el usuario pueda repostar desde con corriente alterna monofásica hasta corriente continua trifásica. [19]

Incluimos la siguiente figura para mostrar los tipos de cargadores disponibles en el mercado:

³ Equipo, aparato o material previsto para ser conectado a un circuito eléctrico con el fin de asegurar una o varias de las siguientes funciones: protección, control, seccionamiento, conexión. [46]



2.1. Tipos de enchufes para cargadores de EV

Estos varían dependiendo del tipo de carga que admiten (Corriente Alterna “AC por sus siglas en inglés”, Corriente Continua “DC por sus siglas en inglés”, o ambas) y también del amperaje máximo que admiten (reduciendo o aumentando el tiempo cargar).

	Duración aproximada requerida	Potencia	Características
Carga a baja potencia <3,7 kW	Desde 9 horas hasta 5,5 horas	2,3 kW (10 A-230 V) 3,7 kW (16 A-230 V)	Se prevé que sea la recarga diaria de viviendas unifamiliares y de edificios, y que se realicen en horas nocturnas.
Carga a potencia normal > 3,7 kW <22 kW	Desde 2 horas hasta 1 hora	11 kW (10 A-400 V) 22 kW (32 A-400 V)	Es la más indicada para recarga fuera de la vivienda. Son puntos repartidos entre lugares acceso público como parkings, centros comerciales, etc.
Carga a alta potencia > 22 kW	Desde 45 min a 25 minutos	43,6 kW (63 A-400 V)	Sistemas de Carga Ultrarrápidos que todavía están en desarrollo y expansión.

Tabla 7. Tipos de Recargas de Vehículos eléctricos.

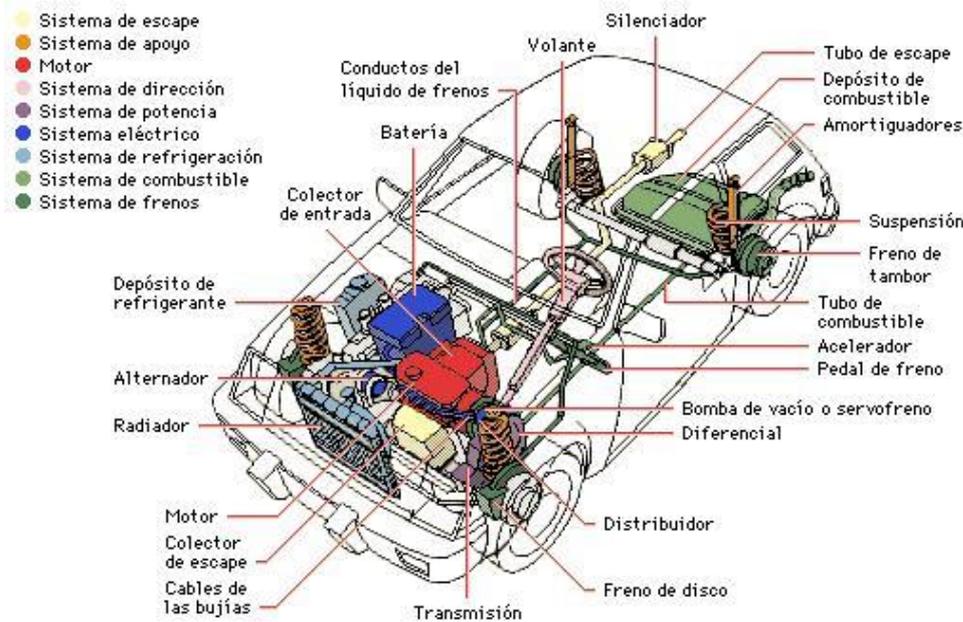
Nota: Elaboración propia a partir de especificaciones de vehículos comerciales.

2.7 COMPONENTES A RETIRAR DEL VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN DURANTE EL PROCESO DE CONVERSIÓN

Para poder incorporar a nuestro chasis todos los componentes que convertirán nuestro ICV en un REV, necesitamos primero extraer los componentes del vehículo original propios del sistema de combustión y todos los elementos que intervienen de alguna forma en un proceso que deja de sernos útil.

Como se detalla más adelante en este TFG, los componentes recibirán su trato correspondiente para tratar de valorizar los residuos de nuestro proceso.

Dicho esto, indicaremos (sin detalle en la mayoría, ya que no son elementos que estudiar) los componentes que deben sustraerse del vehículo:



22. Partes de un automóvil. Fuente: "partesdel.com". [20]

2.7.1 Elementos del Exterior del motor

Se prescinde de los siguientes componentes:

- Filtro del aire
- Carburadores
- Bombas de gasolina
- El depósito:
Se sustituirá y en su emplazamiento se instalarán el sistema de carga y las baterías
- Sistema de escape:
se extraen: el tubo de escape, el colector de escape y el catalizador.
- Circuito de Refrigeración, Radiador y Sistema de Ventilación completo:
No son necesarios debido a que el motor eléctrico incluye refrigeración líquida interna.

2.7.2 Elementos de Transmisión

En cuanto a la transmisión, a pesar de que los EV de nueva fabricación son automáticos (debido a que se regula el par mediante la ECU), la mayoría de los proyectos de Retrofit mantienen la caja de cambios manual, ya que se permite así variar el par de salida del motor, teniendo los mínimos cambios en la estructura del vehículo, cosa que facilita la homologación y reduce sus costes.

Los motores eléctricos no tienen marchas, por lo que regulan la potencia instantánea (Par del motor) a través de un controlador externo, ya sea manual o automatizado. [21]

El nuevo motor eléctrico se acopla a la caja de cambios que poseen los ICV para que las antiguas marchas ofrezcan ahora distintos pares (emulando las marchas del coche tradicional). Es por esto por lo que esta no será descartada. A pesar de que en este caso nosotros operaremos de esta manera, existe otra vertiente que extrae también la caja de cambios y el embrague. Esta solución aun siendo algo más elegante a mi parecer, encarece el proyecto tanto en costes de componentes como de homologación.

Al mantener la caja de cambios, aparece la necesidad del diseño de la placa adaptadora descrita en el punto anterior. El diseño de esta placa es crucial, ya que un mal acople daña los ejes y genera muchas vibraciones, lo que hace la conducción muy incómoda.

Además de la caja de cambios, muchos de los proyectos mantienen también el sistema de embrague, mientras que otros utilizan la palanca de cambios para enviar señales a un controlador eléctrico que regula el par del motor. Se cita un ejemplo de cada alternativa de la misma empresa. [14] [22]

Si se suprimirán:

- Cilindro de accionamiento del embrague y pedal del embrague.
- Volante de Inercia:
Deja de ser necesario, debido a que a diferencia de en los motores de 4 tiempos, los motores eléctricos tienen un par de salida constante y no discontinuo. Aún así, en muchos proyectos se mantiene soldado a la placa adaptadora para un acople correcto, aunque pierde su función inicial.

2.7.3 Elementos eléctricos

- Batería de serie del vehículo:
Debido a que se instalará un sistema de baterías, no es de utilidad.
- Motor de Arranque:
No se necesita un motor eléctrico para accionar el motor de combustión.
- Dinamo:
No será necesaria, debido a que por definición el motor de corriente alterna es reversible y por tanto es capaz de generar energía eléctrica cuando se acciona el freno del vehículo. [8]

3 ESTUDIO DE PROCESO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A REALIZAR

Tras comprender el proceso y qué necesitamos para realizar la conversión, nos surge la duda acerca de cómo realizarla. Simplificando a grandes rasgos el proceso, es un proceso de desensamblado y montaje de los nuevos componentes, extrayendo primero los componentes originales del vehículo que serán eliminados del vehículo, para incluir posteriormente los nuevos componentes de movilidad eléctrica.

Antes de comenzar el desarrollo de esta sección, cabe destacar el carácter iterativo del proceso de diseño del sistema productivo, incorporando y modificando el proceso productivo conforme identificamos los requisitos que deben cumplirse. Debido a esto, aunque este dividido en distintas subsecciones, se avanza en todas ellas de manera conjunta y transversal, por lo que debe entenderse este diseño como un todo, más que como un análisis individual del proceso.

3.2 ELECCIÓN DE MODELO DE SISTEMA DE PRODUCCIÓN

A la hora de plantear un modelo en el que se realicen todos los cambios oportunos para obtener un REV, revisamos la tipología de procesos que existen para inferir cuál se adecúa mejor a nuestro proceso.

Diseñar un proceso basado en un taller de fabricación (como los tradicionales talleres de reparación) en este caso sería contraproducente, ya que aunque sí bien es cierto que nuestros operarios dispondrán de cierta polivalencia, los tiempos de proceso en el taller serán altos y por tanto nuestra capacidad de abastecer al mercado irrisoria.

A diferencia que los talleres, que se caracterizan por su capacidad de flexibilidad ante trabajos de distinta naturaleza, las líneas de fabricación se caracterizan por las sucesivas operaciones que se realizan en un producto a lo largo de las estaciones. Es lógico concluir que esto encaja con las necesidades que tenemos a la hora de realizar la conversión de un vehículo. Las líneas permiten, a diferencia de los talleres, obtener un producto completo en menos tiempo y de una manera más eficiente (siempre que esté correctamente diseñada, de lo contrario resulta totalmente lo opuesto).

A pesar de que a priori la línea se ajusta bastante a lo que buscamos, esta tiene sus inconvenientes. Las operaciones de nuestro proceso serán realizadas por mecánicos, y por lo tanto, están sujetas a la variabilidad del factor humano, así como a la variabilidad inherente de cualquier proceso. La variabilidad condiciona el proceso debido a que hace las estimaciones imprecisas y genera desajustes en los tiempos de proceso de cada operación y en sus respectivos tiempos de transporte. (no se tarda siempre lo mismo en apretar un tornillo, a pesar de que realice la actividad la misma persona con la misma herramienta).

Es por esto que quizás una célula de fabricación pueda absorber en un mayor grado la variabilidad del proceso, aumentando la eficiencia de éste. Una célula de fabricación en U (ya sea de persecución, de posiciones fijas o de solape) es un sistema que se basa en la distribución de las actividades a lo largo de una serie de estaciones distribuidas en "U" siguiendo un flujo regular. Así, los operarios pueden supervisar más de una operación (ya sea moviéndose a lo largo de las estaciones conforme se mueve el producto, o realizando tareas en varias operaciones dada su polivalencia).

La célula en U brinda una mayor flexibilidad (en cuanto a multiproducto se refiere), aunque quizás este sea el factor menos determinante, ya que nuestros modelos son francamente similares. Además, se reduce la variabilidad general del proceso, dado que no se dan lugar a tanto desajuste entre las operaciones que deben ser realizadas (si el operario "persigue" el producto y este le realiza todas las operaciones, no se producen retrasos en lo que a transporte se refiere).

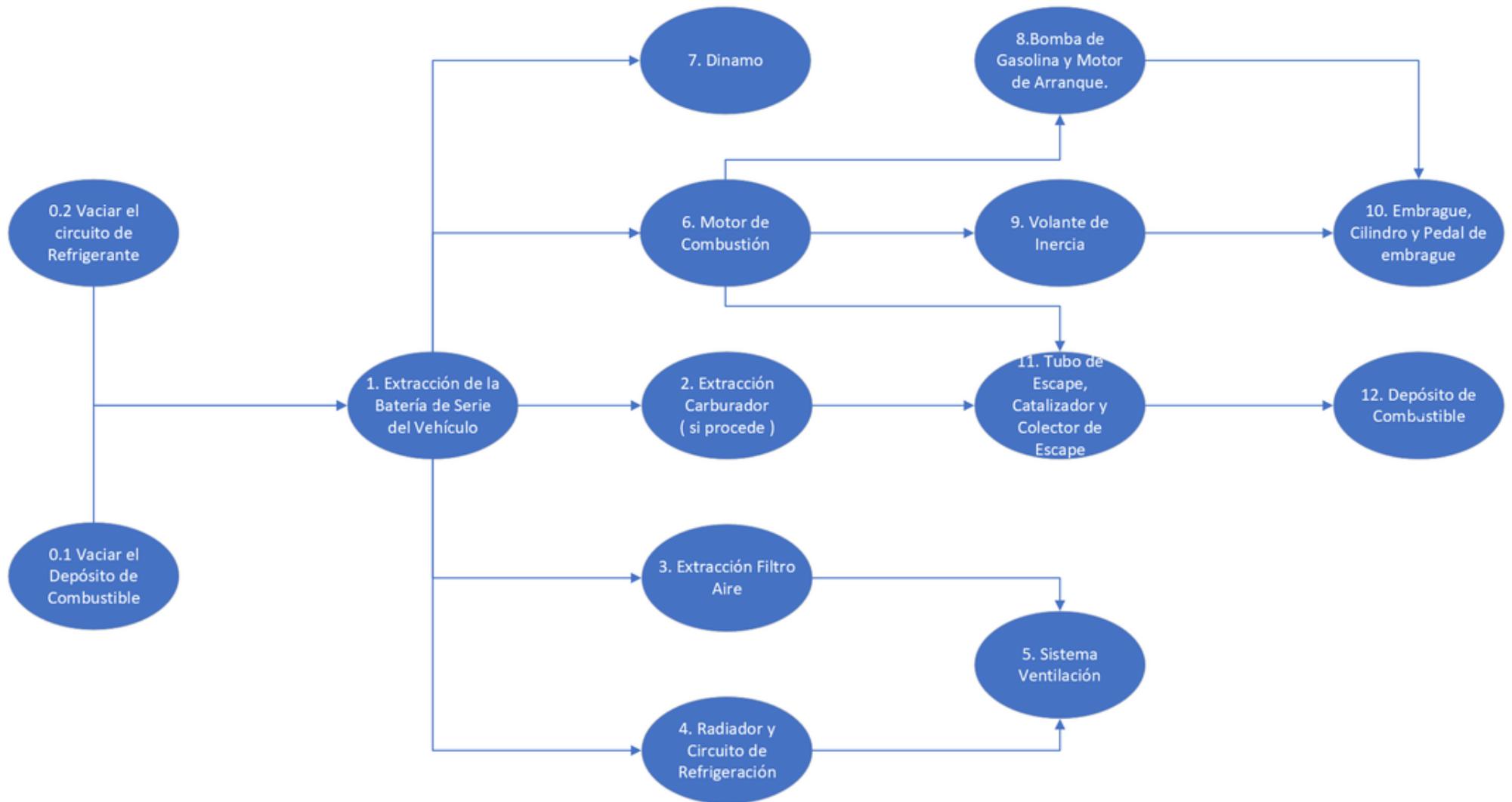
No obstante, las células en U reducen la capacidad de producción, y aunque son más baratas de implementar, los tiempos de ciclo también serán mayores. Como el objetivo de este TFG es la consecución de un sistema de producción que sea capaz de ofrecer productos competitivos a nivel de mercado, se decide implementar una línea de producción, buscando un precio unitario más bajo a pesar de los posibles problemas en cuanto a equilibrado que puedan presentarse.

Respecto al tipo de línea que implementar, buscamos analizar los procesos que se diseñan en la industria del automóvil, para obtener una idea de cómo son diseñados. Aún así, esto se concluirá en los siguientes puntos, ya que requerimos de mayor información acerca del proceso para poder reconocer qué tipo de línea puede favorecernos más.

3.3 DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES Y RELACIONES DE PRECEDENCIA.

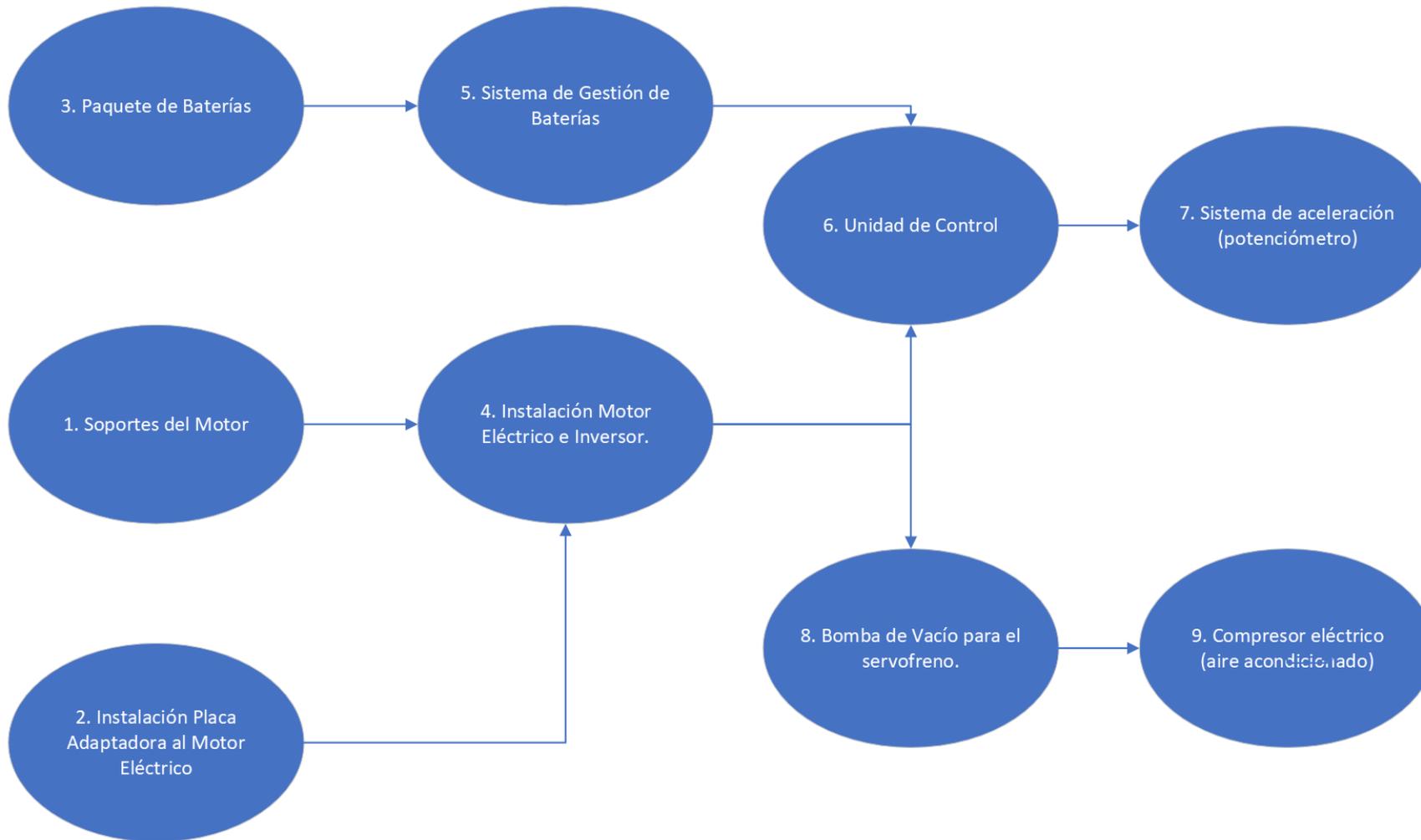
Para definir las actividades, conocer qué se ha de tener en cuenta y el orden en el que deben que llevarse a cabo las operaciones, decidimos ponernos en contacto con tres mecánicos de distintos talleres.

Con las recomendaciones y experiencia de nuestros mecánicos, hemos definido las siguientes actividades, divididas en dos procesos principales, montaje y desmontaje, sintetizadas en sendos diagramas:



23. Diagrama de Actividades de Desmontaje con relaciones de precedencia.

Nota: Elaborado apartir de entrevistas a mecánicos



24. Diagrama de Actividades de Montaje con relaciones de precedencia.

Nota: Elaborado apartir de entrevistas a mecánicos

De las Ilustraciones "23 y 24", así como de las recomendaciones de los mecánicos, destacamos lo siguiente:

- Será necesario previo al inicio del desmontaje, debe haberse vaciado el circuito refrigerante y el depósito de combustible (actividades 0.1 y 0.2)
- En la práctica, el diseño de la conversión se ve condicionado por el modelo de vehículo, año y tipo de motor del vehículo a convertir. Aún así, de cualquier vehículo habrá que extraer la línea de escape, el depósito y sus tuberías. Así como el sistema de refrigeración (radiador, ventilador eléctrico, manguitos. Esto puede llevar un tiempo de 10 horas de un solo operario.
- Según la información obtenida por los mecánicos, existen actividades que aúnan en una misma varios componentes del vehículo, ya que se extraen o instalan de forma conjunta en éste (véase, por ejemplo, el catalizador y el tubo de escape).
- Las relaciones de precedencia señalizadas mediante flechas son directrices de nuestros mecánicos, y por lo tanto pueden ser sometidas a variaciones dependiendo del modelo, año del vehículo y del motor (la potencia de nuestro motor eléctrico no podrá superar en ningún caso a la potencia del motor original).
- Es destacable señalar que en algunos casos la precedencia de unas actividades respecto a otras son inexistentes (por ejemplo, el depósito de combustible y el radiador son totalmente independientes)
- Si la dirección es manual no hay que hacer nada. Por el contrario si fuese hidráulica habrá que acoplar la bomba a la nueva unidad de potencia.
- Deben añadirse una bomba de vacío para tener ayuda en el pedal de freno e igualmente con el compresor para el equipo de climatización.
- Todos los sistemas eléctricos/electrónicos funcionan a 12 Voltios (CC). Debe comprobarse que el sistema de baterías pueda proporcionar esta.
- Para facilitar el montaje, el nuevo motor debe acoplarse a la caja de cambios de serie (a través de la placa adaptadora), por lo que no es estrictamente necesario desmontar el sistema de embrague aunque no es un componente caro, por lo que quizás quizás merezca la pena sustituir por uno nuevo). Sí que es necesario instalar un acelerador eléctrico que recoja la señal mecánica del pedal del acelerador.

Es recomendable pesar los componentes al extraerlos, al menos durante la conversión del vehículo piloto, para controlar la variación de masas entre los pesos de los elementos originales y los nuevos a montar (y la ubicación en la que se sitúan).

La suspensión también se puede ver afectada en altura debido a esto y puede cambiar el comportamiento del agarre del vehículo en curvas. Aun así, esto se revisa en la ITV, por lo que al realizar la conversión del piloto, esclareceremos este aspecto.

Para que varíe lo menos posible, se instalarán las baterías en el hueco del depósito de combustible, y si hiciera falta aumentar la autonomía, después de ocupar el espacio del depósito se instalarán en el lugar de la ruda de repuesto, o bien en los laterales del capó (o en el lugar del radiador).

Acorde a los diagramas anteriores y la información obtenida en los talleres se ha desarrollado la tabla resumen de actividades, con su estimación de tiempos de Operario par ejecutar cada una de las operaciones. Se ha establecido un tiempo contrastado entre los datos de los distintos talleres. Estos datos se pueden encontrar en Anexos “Bill of Materials”, aunque se incluye el siguiente extracto:

Actividad	Descripción	Naturaleza	Precedencia	Tiempo estimado (UT)	Tiempo estimado (h)
1	Extracción de la Batería de Serie del Vehículo	-1	-	1	0,1
2	Extracción del Carburador (si procede)	-1	1	10	1
3	Extracción Filtro de Aire	-1	1	5	0,5
4	Extracción de Radiador y Circuito de Refrigeración	-1	1	20	2
5	Extracción del sistema de Ventilación	-1	3,4	10	1
6	Extracción del Motor de combustión	-1	1	5	0,5
7	Extracción de la Dinamo	-1	1	10	1
8	Extracción de la Bomba de Gasolina y Motor de Arranque	-1	6	15	1,5
9	Extracción del Volante de Inercia	-1	6	5	0,5
10	Extracción del Embrague, Cilindro y Pedal de Embrague	-1	6,8,9	17	1,7
11	Extracción del Sistema de Escape y Catalizador	-1	2,6	10	1
12	Extracción del Depósito de Combustible	-1	11	10	1
Montaje	Descripción		Precedencia		0
1	Instalación de Soportes del Motor	1	-	10	1
2	Instalación de Placa Adaptadora en el Motor eléctrico	1	-	5	0,5
3	Instalación del paquete de Baterías	1	-	15	1,5
4	Instalación del Motor eléctrico y el Inversor	1	1,2	20	2
5	Instalación del Sistema de Gestión de Baterías	1	3	5	0,5
6	Instalación de la Unidad de Control	1	4,5	5	0,5
7	Instalación del Potenciometro	1	6	10	1
8	Instalación de la Bomba de Vacío	1	5	3	0,3
9	Instalación del Compresor eléctrico	1	8	2	0,2
10	Protecciones eléctricas (aplicado en todas actividades)	1	*	10	1
			Total	203	20,3

Tabla 8. Tiempos y Precedencias de las Actividades.

Nota: Elaboración propia a partir de entrevistas a mecánicos.⁴ Pertenece a la hoja Excel “Actividades y Precedencia” en el documento “Bill of Materials”.

Es reseñable destacar que la columna “Naturaleza” indica si el componente es originario o de nueva adquisición (va a ser incorporado). Los que tienen en esta columna un -1 son componentes que se desmontarán, mientras que los que tienen un 1 son componentes que vamos a instalar en el vehículo.

Recordamos esta notación, que ya se empleó anteriormente en la explicación del Retrofit Window.

Además, destacar que los datos nos fueron proporcionados en unidades temporales UT, cuya conversión a horas se nos definió como 1 h = 10 UT.

3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA CALIDAD EN EL PROCESO

Una vez conocidas las actividades y que serán realizadas en una línea síncrona, nos surge ahora el problema de obtener un producto que pueda ser utilizado por el cliente final. Un EV no solo es un motor con ruedas, sino que debe disponer de los sistemas de seguridad adecuados y cumplir con la normativa que cumple cualquier otro vehículo en circulación. El vehículo convertido deberá ser homologado (esto se estudiará en los puntos sucesivos), y para cercionarnos de que nuestros productos cumplen los requisitos pertinentes, es conveniente implementar un sistema de gestión de la calidad.

⁴ En la tabla anterior, el “*” en la columna precedencia de Protecciones eléctricas se debe a que es una actividad transversal que se lleva a cabo a lo largo de la instalación, adaptando la apartamenta eléctrica y las protecciones a la instalación de los componentes eléctricos más importantes.

3.4.1 Recepción de vehículos

Previo a la conversión de los vehículos, debemos realizar unas comprobaciones previas. Estas serán realizadas en la “Estación 0”, que dispone al vehículo para su correcta conversión.

Dado que los vehículos son de particulares, debemos hacer una inspección en el momento de la recepción del vehículo para incluir en el expediente las posibles taras y defectos que traiga el vehículo.

En cualquier caso, el vehículo será fotografiado para recoger todo desperfecto, de modo que pueda alegarse tras su posterior conversión, que los defectos no fueron realizados durante el proceso. (Como se hace en cualquier taller o “rent a car”).

Además, deberá vaciarse el depósito de combustible y el circuito del refrigerante para su fácil extracción, como se mencionó anteriormente en la página 28 de este TFG.

Una vez realizada la “estación 0”, el vehículo puede comenzar su proceso de conversión.

3.4.2 Implementación Norma ISO 9001

La norma ISO 9001 define la calidad y cómo implementar un sistema de gestión de la misma en cualquier proceso. [23]

Según esta norma, debemos identificar qué actividades son críticas en nuestro proceso y aplicarles un control para asegurarnos que se realizan correctamente.

Analizando las actividades de los diagramas de precedencia de montaje y desmontaje, hemos concluido en la fase de diseño que nuestro sistema productivo debe implementar las siguientes “Quality Gates⁵” que certifiquen la correcta realización de las actividades críticas.

3.4.2.1 Quality Gate 1: Extracción de Componentes y estación Off-line

Respecto a la extracción de componentes, debemos asegurarnos que NO se mantiene ningún componente innecesario (que ocupe espacio y aumente el peso del vehículo). Para esto implementaremos una BOM situada en el techo de la carrocería del vehículo. Una vez realizada la extracción de cada componente, el operario en cuestión tachará la pieza extraída de la BOM, llegando así a la primera actividad de montaje con todas las piezas extraídas.

Esto nos lleva al supuesto en el que por cualquier motivo, no estén todos los componentes eliminados de la BOM.

¿Qué pasa si un producto debido a un retraso, no cumple en el tiempo estimado su actividad? ¿Quedará en este el componente?

Al estar diseñando una línea de producción, puede ocurrir que debido a diversos factores, alguna estación no complete sus operaciones en el tiempo de proceso estimado, superando así el “Takt time” y generando un cuello de botella en dicho instante. (El concepto de Takt time se verá en puntos posteriores).

Para evitar estos retrasos, se propone una estación “Off-line” en la que operarios multidisciplinares realicen en trabajo pendiente para que esta unidad pueda volver a incorporarse a la línea sin ocasionar retrasos en el resto de unidades en proceso. Esta estación se encargará de suplir los retrasos ocasionados por la variabilidad de nuestro proceso, amortiguándola para garantizar un flujo continuo de productos.

Además de incorporar esta estación off line, debemos crear consecuentemente, un buffer que almacene las unidades que están pendientes a incorporarse nuevamente a la línea.

⁵ Quality Gate (puerta de calidad) es un conjunto de criterios de calidad específicos que se establecen para evaluar un producto de software o un proceso de desarrollo en un momento dado [70]

3.4.2.2 Quality Gate 2: Comprobación soportes

Los soportes del motor tienen como función principal poder acoplar el nuevo motor eléctrico a la transmisión original de vehículo, haciendo que por lo tanto el nuevo motor se disponga en el lugar del original, y que este encaje perfectamente. Al estar el motor suspendido, estos soportes reciben las vibraciones que se originan durante su funcionamiento, ocasionando una peor experiencia de conducción si estas se perciben en el puesto del piloto. Es por esto que debemos incorporar en los soportes materiales que amortigüen las vibraciones y brinden una experiencia de conducción cómoda.

Para garantizar esta experiencia, incorporaremos un test de vibraciones en los soportes una vez que estén instalados, simulando las vibraciones que producirá el motor. Si las vibraciones superan el umbral máximo, será debido a un error de instalación de los soportes, y deberán ser reprocesados (en la estación off-line para no ocasionar retrasos en la línea).

3.4.2.3 QualityGate 3: Baterías.

Las baterías son el elemento más voluminoso y pesado de nuestro vehículo. Para poder pasar la homologación de la manera más sencilla posible, debemos comprobar dos factores principales.

El centro de gravedad del vehículo debe mantenerse aproximadamente en el punto original del vehículo. Si esto no fuese así, el sistema de frenado no estaría bien calibrado, y el vehículo puede sufrir una desestabilización a la hora de la frenada en recta y curva (esto es un problema considerable a nivel de riesgo para los pasajeros).

Es por esto que debemos incorporar una Quality Gate una vez se hayan instalado los paquetes de baterías en el vehículo. Esto se realiza ahora, y no al final de todo el proceso, debido a que los componentes restantes no pesan (en orden de magnitud), y el grueso del peso del coche ya ha sido instalado, ahorrando pasos en el caso de que se haya producido un desequilibrio en el peso del vehículo.

En la estación de instalación de baterías, el vehículo estará estacionado en una báscula con puntos de apoyo para cada rueda. Una vez concluyan las actividades, se revisará el peso del vehículo en cada rueda, comparándose con el peso obtenido en un ensayo preliminar para el modelo de vehículo que está siendo procesado. Si el peso en cada rueda se mantiene dentro de un umbral de seguridad (no sufre variaciones significativas) el vehículo puede pasar a la siguiente estación. En caso contrario, (esta ya te la sabes), a la estación Off-line para ser reprocesado.

3.4.2.4 Quality Gate 4: Sistema de gestión de baterías

Una vez instalado en sistema de gestión de baterías, se comprobará que todas las celdas instaladas den los valores adecuados en los ensayos de corto y vacío, sabiendo así que el sistema de gestión de baterías puede acceder a ellos. Además, se procederá a hacer una carga y descarga (se encenderá el motor para ver cómo se comportan en conjunto con el inversor) para comprobar el comportamiento del mismo. Una vez que la comprobación a terminado, el vehículo estará listo para la siguiente actividad.

3.4.3 Estación Pre ITV

Dado que este sistema productivo, el vehículo final debe poder superar los criterios de circulación, debemos incluir una estación puramente de calidad, en la que se compruebe que el vehículo superará la ITV y por lo tanto, además de estar homologado, puede circular sin ningún problema.

En esta estación, se realizarán comprobaciones como la puesta en marcha y regulación del par del motor, control de frenos y sistemas electrónicos originales del vehículos (ahora dependientes de la unidad de control nueva instalada) y respuesta del servofreno eléctrico y el potenciómetro (acelerador eléctrico), entre otros.

3.5 ITERACIÓN DEL DIAGRAMA DE ACTIVIDADES

3.5.1 Tiempos de proceso de las Quality Gates

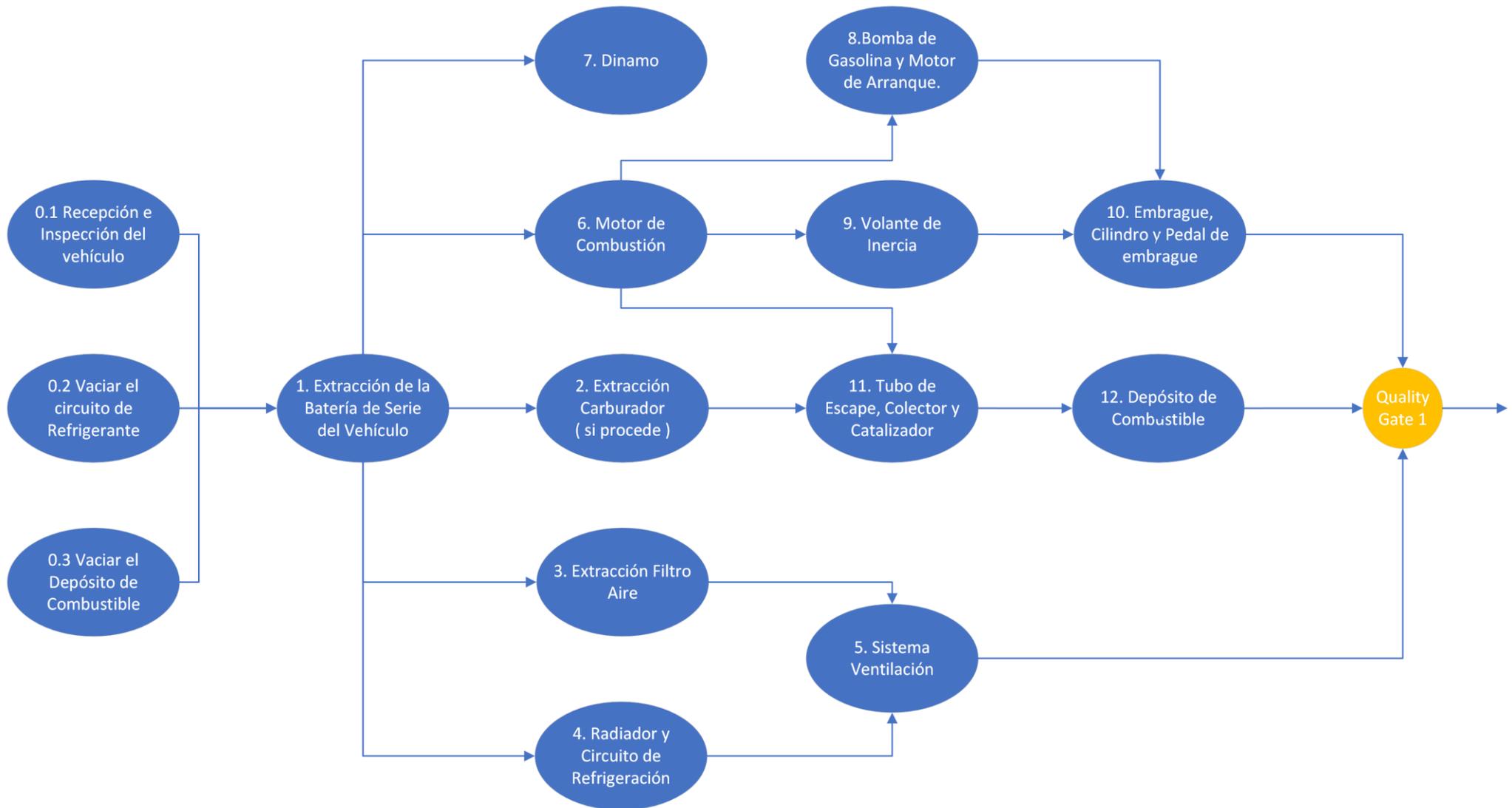
Respecto al tiempo empleado para las comprobaciones de calidad, fueron tenidos en cuenta de forma implícita al obtener los tiempos de proceso de las actividades de los que dependen, ya que los mecánicos realizan estos controles sobre la marcha , al igual que instalan las protecciones eléctrica conforme añaden piezas al vehículo, y no de manera aislada. Por lo tanto supondremos que estos Quality gates NO añaden tiempo de proceso adicional.

Respecto a la recepción del vehículo, se diseña fuera de la línea de montaje, por lo que también se excluirá de la linealización.

Por último, indicar que por la estación Pre ITV deberán pasar todas las unidades, y en caso de no superar los requisitos de la ITV en cualquier aspecto, nuevamente ser procesados en la estación Off-line para subsanar cualquier defecto en las actividades que produzca el problema.

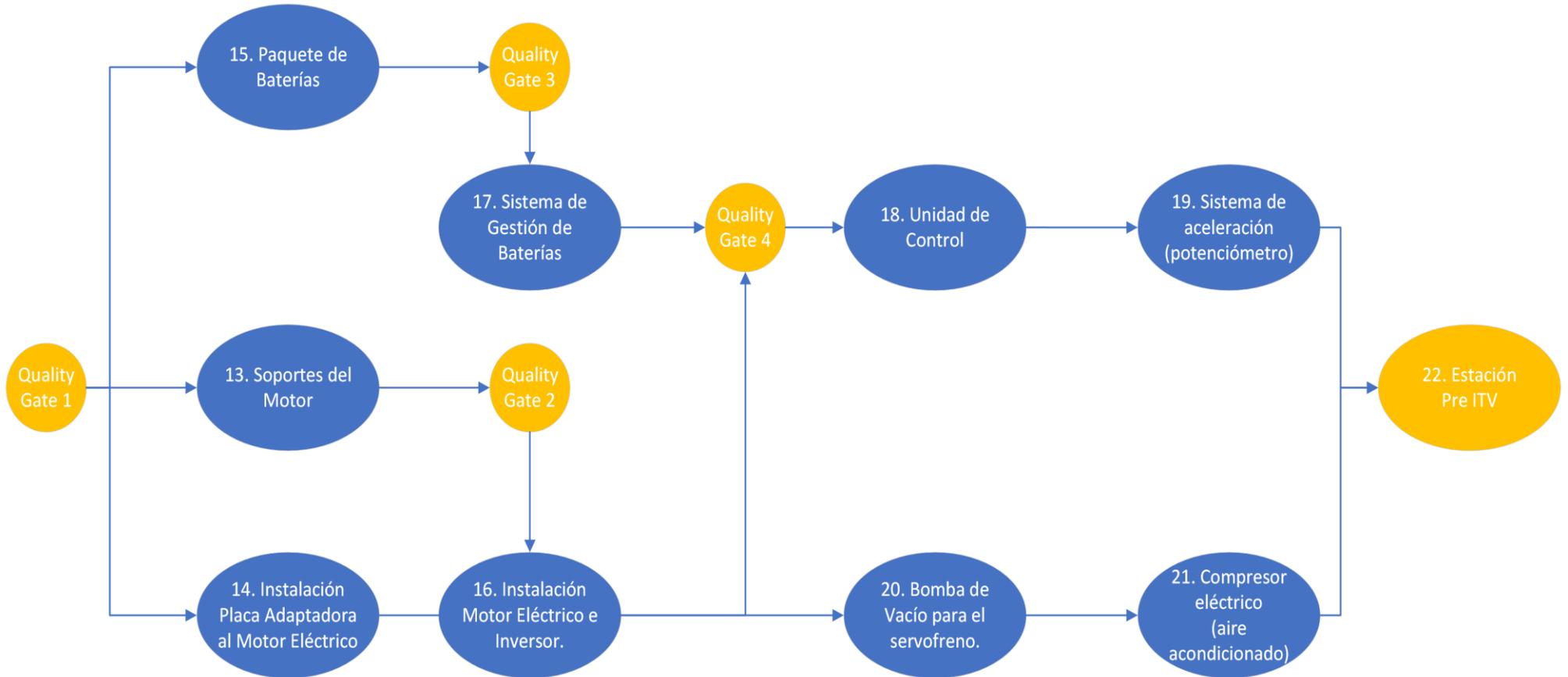
3.6 DIAGRAMA DE ACTIVIDADES MEJORADO

Una vez definidas las actividades iniciales y finales y las pertinentes comprobaciones para la gestión de la calidad, se incluyen en el diagrama de actividades, obteniendo los diagramas de las figuras “26 y 27” que encontramos en las siguientes páginas.



25. Diagrama de Precedencia de Actividades con Quality Gates. Desmontaje.

Nota: Elaboración Propia.



26. Diagrama de precedencia de Actividades y Quality Gates. Montaje.

Nota: Elaboración Propia.

3.7 DATOS DE DEMANDA Y DE PRODUCCIÓN

Para obtener los datos de la demanda posible emplearemos el método de los Ratios Sucesivos.

De los datos de ventas de modelos desglosados en años en la “tabla 4”, podemos agregar los modelos susceptibles de ser convertidos en su correspondiente “Retrofit Window”, dando un total de **377.532** vehículos.

Este dato inicial indica todos los vehículos que podríamos convertir ya que si fecha de matriculación se encuentra dentro del Retrofit Window.

Así, es importante destacar que conforme avanzan los años, el modelo debería ser revisado para incluir una nueva franja temporal que se ajuste al rango de conversión, además de revisar qué vehículos en unos años serán los más abundantes en el parque automovilístico y por lo tanto más rentable realizar un kit de conversión genérico para su modelo.

Hecha la aclaración anterior, y a partir de este dato, suponiendo que todos los vehículos tienen los mismos costes y características para nuestro proyecto, aplicamos el método de ratios sucesivos para estimar la demanda:

- **377.532** vehículos a convertir en España

El **80%** de los usuarios realizan menos de 100 km diarios (Fabian Hoeft, 2021, [11], pg 3), siendo estos los que se beneficiarán de nuestro modelo de negocio.

- **302.026** vehículos que realizan menos de 100km/día.

En España, la intención de comprar un coche próximamente, sea nuevo o de ocasión fue del **43%** en 2022 [24].

- **129.872** usuarios con intención de comprar un coche , que realizan menos de 100 Km diarios y que disponen de uno de los modelos susceptibles a ser convertidos.

El precio estimado de una conversión oscila desde 5000 € hasta los 13000 € (Fabian Hoeft, 2021, [11], pg 2), siendo este un precio asumible por el grueso de consumidores que buscan un coche de ocasión, ya que el **54,5%** de los españoles gasta entre 6000€ y 15000€ al adquirir un coche de segunda mano. [25]

- **70.780** usuarios con intención de comprar un coche, dispuestos a asumir el presupuesto de nuestra conversión, que realizan menos de 100 km diarios y disponen de un “modelo convertible” desde el punto de vista de nuestro estudio.

3.8 DEFINICIÓN DE LAS ESTACIONES Y LINEALIZACIÓN.

Antes de comenzar, y a modo de simplificación de este TFG, no introduciremos valoraciones de variabilidad en los tiempos de las estaciones, ya que son tiempos aproximados de nuestros mecánicos y por lo tanto, no disponemos de fuentes para la toma de variabilidades fiables.

Si este proyecto fuese llevado a cabo, puntualizar que deberían de tenerse en cuenta las variabilidades ya que son un factor determinante a la hora de diseñar y manejar los sistemas productivos. Si en este TFG no se lleva a cabo es por falta de datos reales, no por ser un factor de escasa relevancia.

Así, se comienza el proceso de linealización con los datos de las actividades, que dan un total de **18,9** horas de trabajo (suma de todos los tiempos de proceso de las actividades). A partir de aquí, intentaremos agrupar las actividades en estaciones con tiempos de proceso similares, dando como resultado una línea más o menos eficiente, en función de la congestión de las estaciones, el Takt time o tasa de salida (cada cuanto sale un producto de la línea) y la eficiencia (cuanto tardamos de más respecto a la suma de tiempos inicial). Se incluyen ahora las ecuaciones que gobiernan dichas variables.

$$R(\%) = \frac{\sum(t_0)}{\tau * N^{\circ}estaciones}$$

$$\tau = MAX(Tiempo\ procesoj)$$

Nota: Siendo "j" cada una de las estaciones que se han creado, R denota el rendimiento de la Línea., τ es el Takt Time y t_0 es la suma de todas las actividades.

Se busca obtener una línea lo más equilibrada posible, ya que se prefiere esto a pesar de tener un Takt algo superior. Esto es debido a que a menor Takt time, mayor producción, pero menos equilibrada está la línea y por lo tanto el tiempo de ciclo es mayor (cada unidad permanece más tiempo en la línea, a pesar de que el intervalo entre productos es menor). Además, puede preverse una variabilidad notable, y esto puede dañar el equilibrado, aumentando el inventario en proceso y los costes operacionales.

Al ser un producto de gran valor añadido, preferimos una línea más eficiente que eficaz.

En el documento Excel "Linealización Proceso" adjunto en anexos se pueden ver varias iteraciones en las que hemos agrupado las actividades para conseguir distintas configuraciones y sus correspondientes valores de tasa de salida y de rendimiento. Adjuntamos ahora los datos de la iteración 2, que es la que nos proporciona mayor rendimiento:

2ª ITERACIÓN	Estación	Actividades	Tiempo estimado (h)	Tack Time (h)	2,6
Desmontaje	1	1,2,3,5	2,6	Tiempo producción (h)	20,8
	2	4,9	2,3		
	3	7,8	2,5	Rendimiento	0,908653846
	4	9,1	2		
	5	11,12	2		
				(2 turnos de 8 horas)	14,66666667
Montaje				Rendimiento por hora (55 min efectivos)	0,916666667
	6	13,15	2,5	Nº uds /día	5,641025641
	7	14,16	2,5	Nº uds/ año	1241,025641
	8	17,18,19,20,21	2,5		
				Demanda Total	70780
				Market Share	1,75%

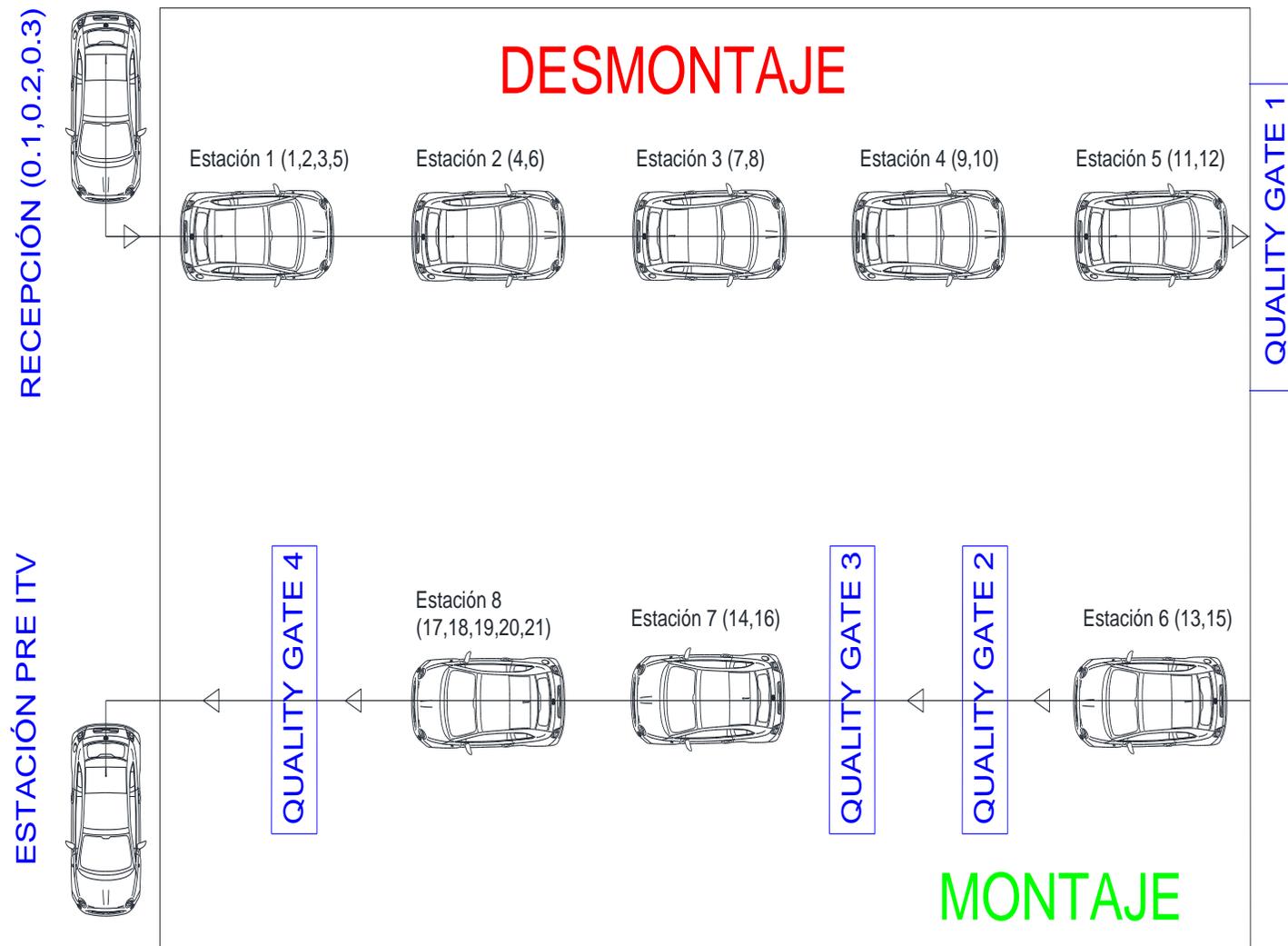
27. Definición de Estaciones y KPIs del proceso.

Nota: Elaboración Propia..

Al reconocer que el equilibrado no es perfecto, debemos descartar una línea tipo síncrona, ya que la variabilidad de nuestras operaciones ocasionará retrasos inevitables en la línea. Es por esto que la línea tendrá un carácter asíncrono en la que los productos avanzarán a lo largo de esta conforme vayan sido terminados, provocando un modelo tipo "push". Aún así, se mantendrá la estación Off line, para reprocesar los trabajos que hayan sido defectuosos a lo largo de la línea y detectados en los Quality gates. Es por esto que la línea tendrá un carácter acotado, que mantenga el pulso descrito en la "ilustración 27". Aún así, es importante señalar que este pulso no tiene en cuenta la estación Off-line, ya que el tiempo de esta dependerá del tipo de trabajo que haya sido defectuoso, y de la frecuencia con la que se necesita reprocesado (datos de los que No disponemos). Es por esto que aun no disponiendo de datos, es lógico inferir que la línea tendrá un Takt time efectivo algo mayor al descrito.

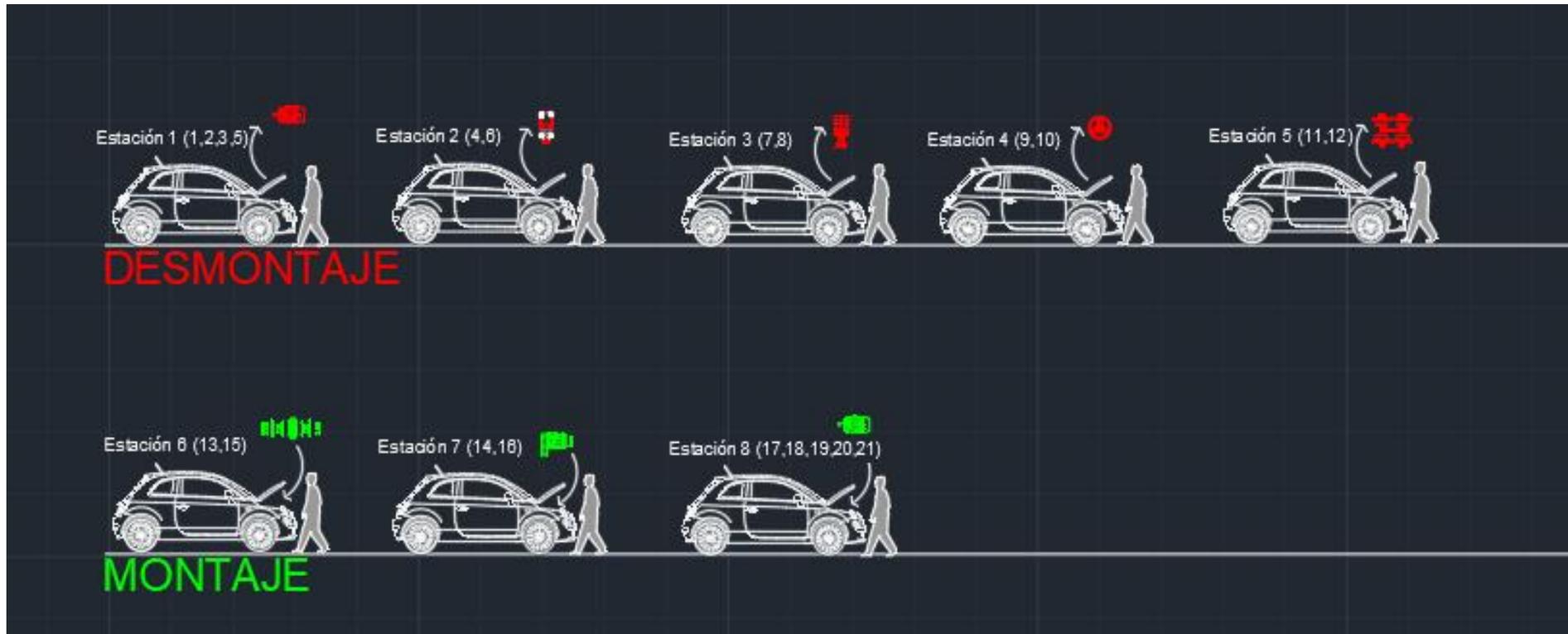
3.8.1 Diagramas del proceso Productivo

Una vez definidas las estaciones y las actividades que se realizan en cada una, ofrecemos una vista esquemática en perfil y planta de la línea de producción. Nótese que estos diagramas sirven a modo de esquema, y por lo tanto en el proceso real podría obtenerse o alterarse el diseño en función de los datos reales:



28. Vista planta del proceso productivo.

Nota: Elaboración propia en Autocad a partir de la linealización del proceso.



29. Diagrama en Autocad del perfil de las Estaciones del Proceso.

Nota: Elaboración propia que ilustra cómo se suceden las estaciones en el proceso productivo.

Es conveniente destacar que a lo largo de las estaciones, los vehículos serán desplazados por un mecanismo de arrastre de manera síncrona, y que en las estaciones que se requiera, se dotarán de sistemas que levanten el vehículo. Estas dos características no se han representado para mantener la simplicidad del diagrama.

3.9 DESARROLLO DE LA LOGÍSTICA INVERSA

Del proceso de Desmontaje se obtienen componentes que deben de ser tratados de manera correcta y responsable.

El combustible y refrigerante extraído debe ser correctamente depositado en un punto limpio o valorizado por alguna industria.

Respecto a los componentes que no nos son útiles, intentaremos valorizarlos, reduciendo su impacto ambiental y nuestros costes operativos de nuestro proceso:

Hemos contactado con varios desguaces para informarnos de la posibilidad de que pudieran hacerse cargo de los componentes de los vehículos, así como el precio al que venderíamos los componentes. Este es la lista de componentes que nos proporcionaron muy amablemente:

Esta lista fue proporcionada por “*Desguaces La Torre®*”, cuyos precios eran superiores a otros desguaces:

- Filtro del aire (20€)
- Carburadores (30€)
- Bomba de gasolina (30€)
- Depósito (60€)
- Sistema de escape: el tubo de escape, el colector de escape y el catalizador. (200€)
- Circuito de Refrigeración (60€ solo tuberías)
- Radiador y Sistema de Ventilación completo (100€)
- Embrague (30€)
- Cilindro de accionamiento del embrague y pedal del embrague. (30€)
- Volante de Inercia (60€)
- Batería por defecto del vehículo (35€)
- Motor de Arranque (30€)
- Dinamo (30€)

Estos ingresos quedarán reflejados en nuestra lista de Materiales (por sus siglas Bom en inglés), recogida en el anexo, cubriendo para cada vehículo parte de los costes de adquisición de nuevos componentes eléctricos.

4 ANÁLISIS DEL MARCO LEGISLATIVO

4.1 MARCO LEGISLATIVO EN ESPAÑA

En España, todo vehículo que circula legalmente ha debido superar la Inspección Técnica de Vehículos (por sus siglas ITV). Todo cambio a un vehículo, por lo tanto, debe de ser aprobado y homologado por la ITV, y esta se rige por el Manual de Reformas (elaborado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en colaboración con los órganos competentes en materia de ITV de las Comunidades Autónomas, que establece las descripciones de las reformas tipificadas, su codificación y la documentación precisa para su tramitación) en su séptima revisión tras el Real Decreto 866/2010 [27].

El derecho español es un derecho jerárquico, por lo que hay que atender a los organismos supraestatales, además de ser un derecho comunitario, así debiendo atender a las normativas europeas.

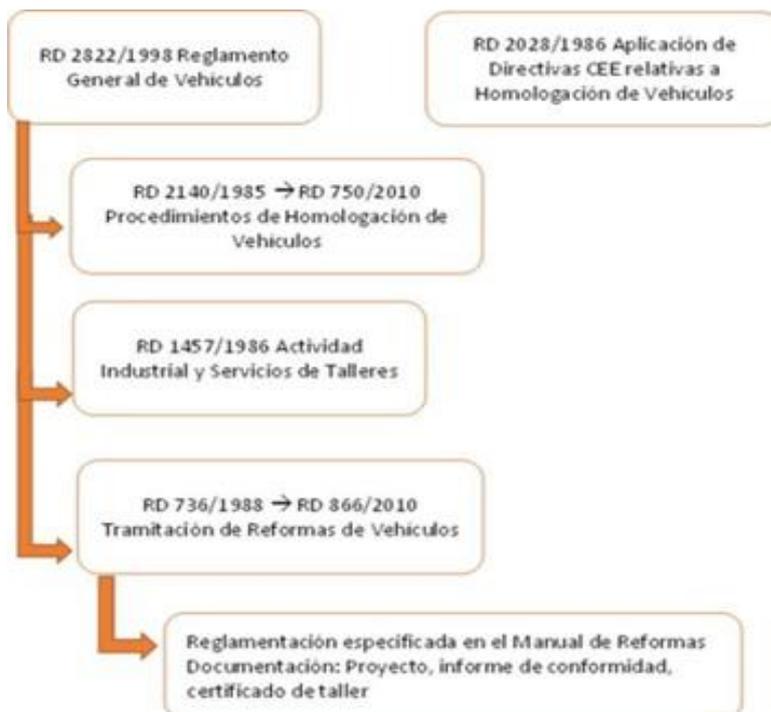
Este Manual de Reformas emana del marco legislativo que crea el Parlamento y el Consejo europeos (septiembre de 2007) en el que se sientan las bases para la homologación de vehículos de motor y sus remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinadas a dichos vehículos [27].

Para que un vehículo pueda circular en la vía pública se necesitan una serie de permisos:

- ITV en rigor
- Permiso de circulación
- Seguro del vehículo

Para poder conseguirlos, el coche debe de estar debidamente homologado por el fabricante y las empresas de certificación del país, de acuerdo con la ley vigente. Todas las reformas que se realicen necesitan estar certificadas en España por un laboratorio designado por el ministerio de industria. Se estudiarán las condiciones necesarias y las modificaciones permitidas para que estos vehículos sean legales en la vía pública, no solamente en circuitos cerrados.

En el siguiente diagrama se aprecia el orden y jerarquía de la normativa en España:



30. Orden de evolución y conexión de las normativas españolas.

Nota: Adaptada de "DISEÑO DE LOS SOPORTES MOTOR Y ACOPLER DE TRANSMISIÓN PARA LA CONVERSIÓN DE UN MAZDA MX5 A VEHÍCULO ELÉCTRICO" Tomás Manuel Banegil Collado, 2021. [19]

4.2 HOMOLOGACIÓN DE LOS CAMBIOS DEL VEHÍCULO

El "Manual de reformas" (incluido en Anexos Revisión 7) distingue a los vehículos por categorías, y dependiendo del tipo de vehículo objeto de la reforma se le requieren unos documentos u otros. Así, únicamente nos atañe lo referente a la "categoría M" ("Vehículos a motor destinados al transporte de personas y que tengan por lo menos cuatro ruedas, o tres ruedas y un peso máximo superior a 1 tonelada") [28].

Del apartado del Manual "5. Documentación Exigible" obtenemos los siguientes documentos a entregar para obtener la homologación:

- Proyecto Técnico (Que debe Incluir los siguientes documentos)
 - Memoria
 - Objeto de la Reforma
 - Características del vehículo antes y después de la Reforma
 - Descripción de la Reforma
 - Cálculos Justificativos
 - Pliego de Condiciones
 - Planos
- Certificado de dirección final de obra
- Informe de Conformidad
- Certificado de Taller
- Documentación Adicional
- Conjunto Funcional
- Inspección específica. Puntos a Verificar.
- Normalización de la anotación de la Reforma en la Tarjeta ITV
- Información Adicional

A priori debieramos entregar toda la documentación anterior, pero es conveniente puntualizar que esta documentación NO siempre es requerida de manera completa, depende del grado de reforma y del grupo funcional en el que se alojen los cambios.

Estudiaremos ahora , para cada función, qué cambios requieren homologación según el Manual de Reformas y qué nivel de documentación requieren:

Encontramos la información deseada en la "SECCIÓN: I GRUPO: 2 (2.11) Unidad Motriz: Modificaciones sobre la configuración de la Unidad Motriz del Vehículo."

DOCUMENTACIÓN NECESARIA

- Proyecto Técnico
- Certificación final de obra
- Informe de Conformidad (Para la emisión del informe de conformidad será imprescindible que el vehículo transformado disponga de ficha de rescate.)
- Certificado del Taller

Conjunto Funcional:

El titular del vehículo o la persona por él autorizada aportará:

- Copia de la Resolución de la Autoridad de homologación.
- Informe según Anexo II.

- Certificado del taller según Anexo III

INSPECCIÓN ESPECÍFICA.

PUNTOS A VERIFICAR SEGÚN MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE LAS ESTACIONES ITV (SECCIÓN I)

- Capítulo 5. - Emisiones
- Capítulo 6. – Frenos
- Capítulo 9. - Motor y Transmisión

(Gobierno de España, Manual de Reformas, 2022, SECCIÓN: IGRUPO: 2 (2.11) Pg 1-3)

Revisando el resto de puntos del manual, al conservar la transmisión original, no es necesario presentar ninguna modificación de ésta, ni tampoco del sistema electrónico del vehículo, ya que se mantiene la tecnología de serie, salvo la manera en la que se alimenta al sistema. Las agujas o panel eléctrico seguirán indicando revoluciones y velocidad, y el display de gasolina representará el nivel de batería restante

Es importante NO sobrepasar con el nuevo motor la potencia máxima del original, ya que tendríamos que incurrir en mayores procedimientos de inspección.

4.3 OBTENCIÓN DE LOS CERTIFICADOS DE TALLER E INFORME DE CONFORMIDAD

Como hemos visto en el punto anterior, para que nuestro vehículo pueda derrapar como es debido, necesitamos los certificados y homologaciones que hemos relatado anteriormente. Ahora vamos a ver qué se necesita para obtener cada uno con algo más de profundidad.

4.3.1 Proyecto Técnico

Es un documento de Ingeniería en el que se

Según el Manual de Reformas, el Proyecto Técnico es un documento en el que se detalla la ingeniería de la reforma, se identifica al técnico competente, y las características del vehículo (incluyendo marca, tipo, variante, denominación comercial, número de identificación y matrícula).

En caso de que el vehículo reformado coincida con un tipo homologado en primera o sucesivas fases, no se necesitará un proyecto técnico para llevar a cabo la reforma. Asimismo, si se trata de una restitución o desinstalación de elementos y el vehículo resultante está cubierto por una homologación de tipo, tampoco se requerirá un proyecto técnico. El proyecto técnico debe detallar todas las transformaciones que se pretenden legalizar en el vehículo, incluyendo las modificaciones relacionadas con Regulaciones de la Comisión (CRs) para las cuales el proyecto técnico no es obligatorio. No es necesario incluir cálculos específicos para estas últimas (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2021).

Es por esto que las empresas pioneras del sector están intentando obtener una homologación de producto final, en la que se recoja toda la conversión de un proceso global y se reduzca la complejidad legal. Aún así, esta iniciativa todavía no ha dado sus frutos, por lo que deberíamos entregar un proyecto técnico por cada vehículo hoy en día.

4.3.2 Certificación final de Obra

De acuerdo con el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2021), en el proceso de identificación para la legalización de reformas en un vehículo, se debe proporcionar información detallada que incluya el técnico competente, el vehículo (marca, tipo, variante, denominación comercial, número de identificación, matrícula y fotografías del vehículo después de la reforma), las reformas realizadas y los talleres donde se han ejecutado las reformas. Las fotografías deben mostrar el aspecto general del vehículo y los detalles de la reforma realizada.

El certificado de dirección final de obra debe estar identificado de forma inequívoca en todas sus páginas, con las páginas numeradas e indicando en todas ellas el número final de páginas, incluyendo los anexos. Además, hará referencia a la identificación inequívoca del proyecto, incluyendo los datos profesionales del titular y el número o código de proyecto técnico, indicando el nivel de modificación. Se debe certificar que se han realizado las reformas en el vehículo referenciado de acuerdo con el proyecto técnico y la documentación adicional correspondiente. La fecha del Certificado de Dirección Final de Obra siempre será igual o posterior a la fecha del Certificado de Taller (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2021).

Para poder obtener nosotros mismos la acreditación de expedición de Certificados de Obra, debemos obtener una Habilitación profesional (Junta de Andalucía, 2023, [26]). Para esto es necesario realizar unos trámites, y cumplir con las normas de nuestra provincia y comunidad autónoma en materia de industria, capacidades técnicas y el cumplimiento de normas, requisitos y responsabilidades.

En la “referencia 26” se encuentra un listado de normas que cumplir, y el proceso de tramitación de la solicitud.

En resumen, muy tedioso, pero eficiente una vez obtenido, ya que nos acreditamos a nosotros mismos que la reforma se ha llevado a cabo del modo debido.

4.3.3 Informe de Conformidad

Este documento certifica que un vehículo cumple la normativa vigente en todos los aspectos y es apto para circular legalmente. Si no posees este documento tras realizar una reforma no es posible superar la ITV de un vehículo.

Este documento es obligatorio, y también existe un procedimiento para tener acceso a su expedición. Presentando este documento en cualquier ITV, no tendremos problemas en pasarla [27]

Estos informes deben ser emitidos por un laboratorio de homologaciones o un Servicio Técnico de Reformas (STR). El organismo que concede la acreditación de laboratorio es el ENAC (Entidad Nacional de Acreditación) y autorizada para emitir Informes de Conformidad según la normativa del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, además de en nuestro caso la Junta de Andalucía.

Nuevamente, hay que pasar unos trámites de normas de acreditación, que pueden encontrarse en (Enac, 2023, [28]). Al igual que el certificado de Obra, si obtuviésemos la acreditación de laboratorio podríamos homologar y certificarnos a nosotros mismos que los vehículos cumplen con lo necesario. Este proceso se realizaría en la estación "PRE-ITV" ya mencionada en puntos anteriores.

4.3.4 Certificado de Taller

Según modelo del Anexo III (del Real Decreto 866/2010) , El certificado de Taller especifica la identificación de los equipos o sistemas modificados respecto al vehículo original y garantiza con su firma que se cumple lo previsto en el artículo 6 del Reglamento General de vehículos y, en su caso, en el artículo 9 del Real Decreto 1457/1986, de 10 de enero, por el que se regula la actividad industrial en talleres de vehículos automóviles, de equipos y sus componentes, modificado por 455/2010, de 16 de abril (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2021, Manual de Reformas).

Del mismo modo que para los documentos anteriores, podemos solicitar la acreditación para expedición de Certificados de taller. En este caso es el mismo procedimiento que la Certificación final de Obra, por lo que siguiendo el mismo trámite logramos acceso a ambos documentos.

4.3.5 Conclusiones respecto a la homologación

Tras analizar todo el trámite que es necesario para poder disponer de los poderes que requerimos a la hora de realizar la homologación, llegamos a la conclusión de que a nivel de tramitación, el Retrofit en España es una pesadilla burocrática.

Conlleva un proceso lento de tramitación, además de tener asociados estos trámites unos costes que serán sin duda significativos.

Una vez obtenidas todas las acreditaciones, no deberíamos tener problemas de homologación. Lo ideal sería que el Gobierno aceptase el proceso como un conjunto global y funcional, evitando así tener que incurrir en la homologación de cada unidad individual.

4.4 MARCO LEGISLATIVO EN EUROPA

4.4.1 Criterios ASG y su implicación

La Unión europea sienta los marcos para que los países miembros hagan su propia legislación partiendo de unas directrices comunes. En este marco podemos incluir a la Agenda 2030 y sus SDG, así como a los criterios ASG (Criterios Ambientales, Sociales y de Gobernanza). Son criterios fundamentales a la hora de la gestión de activos y de las inversiones. [29]

Estas guías proponen a los países modelos para su legislación, pero cada cual es soberano para desarrollar su propia legislación, ya sea más o menos restrictiva.

Es por esto que puede resultarnos interesante comparar el estado de la conversión de ICV a EV en España respecto a su homónimo en los principales países europeos.

4.4.2 Documentación por presentar referente a los cambios del vehículo fuera de España

En la Unión Europea existen países donde el concepto *retrofit* está más extendido y mejor regulado.

La homologación y sus costes se ven abaratados por la gestión de los mismos. La ley en Francia permite que únicamente el Certificado de Taller sea necesario para la conversión a un vehículo eléctrico, definido en la Orden del 13 de Marzo de 2020 del Gobierno de Francia [13]. En España, sin embargo, se aplica el ya mencionado Manual de Reformas que delimita los cambios que hay que justificar y los que no. (Banegil Collado, Tomas Manuel, 2021, pg 17)

Es por esto que el sector en el resto de Europa se encuentra en expansión.

En Francia, por ejemplo, una empresa llamada *Transition One@* produce kits de conversión para 6 modelos de vehículos con homologación incluida por únicamente 5000 € y una instalación de 4 horas.

Otra empresa del sector francés es *Phoenix Mobility@*, electrifica furgonetas y monovolúmenes de la casa francesa *Renault*.

Phoenix Mobility@ es una compañía establecida en Grenoble, Francia, especializada en el desarrollo y aplicación de soluciones de retrofit, transformando vehículos con motor de combustión interna en eléctricos. Renault y Phoenix Mobility han firmado un acuerdo estratégico, por el cual Renault espera comenzar a realizar transformaciones eléctricas en su planta de Flins.

La planta de Flins, en la que se han producido automóviles tan emblemáticos como el Dauphine, el Renault 4, el Renault 5 y más recientemente Renault Zoe y Nissan Micra, ha comenzado su reconversión para centrar su actividad en la denominada "economía circular". Renault recibirá vehículos de segunda mano para ser reacondicionados en Flins y también recibirá vehículos comerciales diésel y gasolina para ser transformados en eléctricos. (David Villareal, Diariomotor.com, Julio 2022)

En Reino Unido, existen varias empresas dedicadas a la venta de componentes para la electrificación como *Swindon Powertrain@* (que han sido empleadas en la investigación de mercado para el motor y baterías, entre otros componentes), además de varias empresas que se dedican al propio Retrofit de vehículos Clásicos, como *Electrogenic@*.

En España, el precio de componentes y la mano de obra es muy similar al de estos dos países de Europa, por lo que es la homologación lo que impide que florezca este sector como lo está haciendo en otros países.

Esta diferencia se hace latente en una entrevista dada por la "Asociación Española para la Conversión de Vehículos a Eléctricos" (En adelante por sus siglas AECONVE):

“No hay empresas que se dedican al retrofit en el país. Se está a la espera de que la normativa cambie. Nos resulta bastante complicado hacer una conversión en España, el resultado es horrible:

En primer lugar se debe ponerla a la máxima potencia e insertar una carga alta. Con un mechero o un sistema quemador, se la debe incinerar y ver el resultado.

Luego de evaluar si surge algún tipo de problema, se procede a la siguiente etapa que consta del mismo proceso de ardido. De no ser así la batería es destruida.

A esta segunda etapa se le suma un sistema de vibración que funciona durante tres horas. Luego de pasado ese tiempo se vuelve a incendiar para saber si esta sigue siendo estable.

Esto hecho, pasa a ser probada en el vehículo.

“Hay que encenderlas directamente y aquí puedes hacer la prueba de vibraciones dentro del coche y saber que no hay ningún problema”, comenta el presidente de AECONVE. Luego de esta tercera prueba de la batería, sí sería la que se podrá usar.

“Los materiales de tracción en Europa, están en 700 euros el kWh, entonces en ese tipo de pruebas son tan exigentes que de primeras ya lo hacen complicado”, se explica González sobre el tema.

Una vez que el coche está montado debe ser introducido en una cámara anecoica (sala diseñada para absorber en su totalidad las reflexiones producidas por ondas acústicas o electromagnéticas).

Esto es para determinar si el vehículo transmite o no ondas electromagnéticas que pudieran dañar a una persona que tuviera, por ejemplo, un marcapasos.

“Si es la norma, es la norma. Este punto nos parece válido ya que es por una cuestión de seguridad”, comenta el presidente de la asociación de conversión de coches térmicos a eléctricos.

Las pruebas no terminan allí, se debe acreditar que la distribución de ejes no ha cambiado frente al coche térmico.

“Quitar un bloque motor que pesaba entre 100 y 200 kilos para hacerlo fácil, debe luego ser cambiado por las baterías que pesan 116 kilos y en ese punto ya has pasado del límite, siento que es del 15% de su peso”, explica González.

AECONVE considera que el modelo de retrofit en España es “muy complicado” y se sobreprotege al coche nuevo.

Francia, por ejemplo, tiene una legislación más abierta y tolerante. La conversión es más sencilla y flexible a la hora de realizar el proceso de homologación.

“Por ahora no veo que el Gobierno vaya a hacer algún cambio. Sí que son conscientes de que la normativa es casi que absurda y retrasa la transición al coche eléctrico”, expresa el presidente de AECONVE. (Francisco Quatrin, 2022, [30])

Por otra parte, obtenemos también del portal online “*autodoc*” lo siguiente:

“La conversión a eléctrico sí se puede realizar en España, pero, al tener que someternos previamente a la tediosa burocracia española, los trámites a seguir no van a ser nada fáciles.

Cada coche debe ser estudiado individualmente y dicha transformación siempre debe ser analizada y planificada pensando en la homologación, algo que toma más tiempo del imaginado inicialmente.

Siempre se recomienda cambiar el motor a eléctrico y sustituir las piezas relacionadas con la mecánica de combustión por las eléctricas sin que el peso entre ellas varíe demasiado.

En lo que respecta a estas modificaciones, la burocracia en nuestro país resulta algo muy confusa e incluso obsoleta. Es necesario presentar un proyecto técnico, un certificado de conformidad del servicio autorizado y el certificado del taller que ha efectuado la modificación. Algo que en principio, no parece tan complicado, pero que en realidad es un laborioso proceso. Cada ensayo para certificar pueden costar unos 2.000 y 8.000 euros y solamente se lleva a cabo en el INTA donde hay que pedir cita

y contar con largo tiempo de espera. Como vemos, sí es posible homologar este tipo de vehículos en nuestro país pero hay que tener presente que va a costar tiempo y dinero.

En España ya contamos con proyectos dedicados a desarrollar comercialmente estas conversiones de coches de combustión a totalmente eléctricos. Empresas como Elektrun Cars o eCoche llevan a cabo una transformación completa atendiendo a la legislación vigente y a las preferencias del cliente. También encontramos fabricantes de kits de conversión a coche eléctrico, y en este sentido, Elektrun por ejemplo planeó en 2020 dejar de convertir coches de manera individual para pasarse a montar kits que puedan ser usados en muchos coches, en concreto, en aquellos modelos que suscitan más interés. La empresa se encargaría únicamente del montaje, pero la homologación pasa a ser grupal al homologarse el kit directamente. Así, a partir de veinte interesados en un modelo concreto, el desarrollo de un kit de retrofit comienza a ser viable.”(Autodoc, 2021, [31]).

5 ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE VIABILIDAD

5.1 MODELO DE COSTES DE LA PLANTA

5.1.1 Costes Directos del Producto:

Serán aquellos debidos a la compra de componentes para el vehículo, y que influyen directamente en el precio de venta al público.

Al realizar la investigación de mercado, los precios que hemos obtenido han sido precios de venta a minoristas, por lo que para ajustarlos al modelo de negocio que se plantea en este TFG, se les aplicará un % de descuento debido a las economías de escala de las que puede disfrutar nuestro proceso.

Adjuntamos la lista de Materiales de nuestro producto, en la que se recoge el precio de cada componente:

Elemento	Naturaleza	Coste Adquisición (€)	Coste Efectivo (€)
Batería de Serie del Vehículo	-1	-35	-35,00 €
Carburador	-1	-30	-30,00 €
Bomba de Gasolina	-1	-30	-30,00 €
Depósito	-1	-60	-60,00 €
Colector de Escape	-1	-50	-50,00 €
Tubo de Espace	-1	-50	-50,00 €
Catalizador	-1	-100	-100,00 €
Circuito Refrigeración	-1	-60	-60,00 €
Radiador	-1	-50	-50,00 €
Sistema de Ventilación Completo	-1	-50	-50,00 €
Embrague	-1	-30	-30,00 €
Cilindro y Pedal de Embrague	-1	-30	-30,00 €
Volante de Inercia	-1	-60	-60,00 €
Filtro de Aire	-1	-20	-20,00 €
Motor de Arranque	-1	-30	-30,00 €
Dinamo	-1	-30	- 30,00 €
Motor Eléctrico	1	2.500,00 €	2.125,00 €
Sistema de Baterías	1	2.650,00 €	2.250,00 €
Placa Adaptadora	1	250,00 €	212,50 €

Soportes Motor	1	200,00 €	170,00 €
Sistema Gestión Baterías (BMS)	1	600,00 €	510,00 €
Inversor	1	300,00 €	255,00 €
Unidad de Control	1	200,00 €	170,00 €
Sistema Aceleración (Potenciometro)	1	50,00 €	42,50 €
Bomba de Vacío	1	150,00 €	127,50 €
Protecciones Eléctricos	1	250,00 €	212,50 €
Compresor (aire acondicionado)	1	500,00 €	425,00 €
TOTAL		6.935,00 €	5.787,00 €

Tabla 9. Lista de Materiales (Bills of Materials)

Nota: Elaboración Propia. Véase anexos.

De la tabla anterior cabe destacar varias cosas:

Nótese que hay precios efectivos en negativo. Estos son los pertenecientes a los componentes que se desechan del motor, y que procedimos a darle un trato responsable. Así, nos pusimos en contacto con diversos desguaces para intentar valorizar estos residuos, como se comentó ya en la sección 3. Estos precios obtenidos se valoran como valor en nuestro proceso productivo, atendiendo a los objetivos que persigue este TFG:

En la columna “Coste Efectivo”, incluimos para los componentes que debemos adquirir, un descuento de un 15% debido a las economías de escala mencionadas anteriormente.

Así, finalmente obtenemos un coste total de componentes que asciende a 6935 €. Este precio da que reflexionar. Si recordamos, la empresa *Transition One*®, ofrece kits de conversión para modelos iguales a los nuestros por 5000€ incluyendo mano de obra de la instalación y la homologación.

Volviendo a realizar el bechmarking, vemos que quizás esté sobredimensionado nuestro vehículo, ya que en lugar de los 100 Km de autonomía que ofrece esta empresa, ofrecemos casi 200 Km, y en lugar de su motor de 60 Kw, el nuestro disfruta de 88 Kw.

Además, el precio de esta empresa se ofrece debido a un subsidio del gobierno francés, por lo que realmente no estamos tan lejos de lo que el mercado nos ofrece.

5.1.2 Costes Estructuras

Serán los costes derivados de la actividad industrial. Entre estos incluimos el alquiler y mantenimiento de la Planta, Las Horas de Operario destinadas a la conversión de una unidad, y la maquinaria empleada para la misma, costes de equipo legal, así como otros costes unitarios (transporte si aplica).

Se toma la media de coste €/h de los talleres en España = 40€/h [32] y se le suma un 10% para recoger posibles retrasos y errores de producción

Para poder estudiar todos los costes que se tendrán durante la conversión de un vehículo, dividiremos los costes según su naturaleza para identificarlos.

5.1.3 Costes Legales

Estos costes de Homologación han sido arduos de obtener, ya que falta información acerca del proceso de homologación (no la documentación a presentar, sino los ensayos a los que se someten los

vehículos). Dicho esto, un precio aproximado acerca del coste de este proceso de homologación se encuentra en este extracto:

“El proceso de reforma para homologar un retrofit requiere que se realicen diferentes ensayos por cada característica técnica que se modifique (motor, transmisión, frenos, reparto de masas...). Sánchez explica que realizar todo este proceso para homologar un solo vehículo cuesta unos 7.000 euros en ensayos. Si queremos conseguir la misma certificación para homologar un kit con el que transformar un número limitado de coches en España el precio se multiplica.

En *eCoche@* aseguran que "homologar un paquete de baterías genérico puede costar hasta 70.000 euros, coste que va separado de la homologación del vehículo". Como solución posible para superar este elevado precio, se explica que las diferentes empresas que se dedican a este propósito se unen para compartir costes de homologación." (Jesús Martín, Motorpasion.com, 2019) [33]

De lo que hemos podido obtener, aproximadamente el coste de 1 vehículo (componentes e instalación) se equipara con el de los ensayos, ya que estos destruyen la batería y posiblemente el sistema eléctrico del vehículo.

Además, deben pagarse unas tasas, que conciernen a los costes de tramitación del proyecto de Ingeniería y los certificados del taller, así como las tasas de ITV del vehículo ;

El coste de una homologación de una reforma en el coche, más allá del coste de la pieza, ronda los 300 euros y puede llegar hasta 500 euros, si se trata de cambios mayores. En todo caso, si se realizan varias modificaciones a través de talleres de garantías y con piezas legales, se puede abaratar el coste de pasar por ITV (45€) o de certificar las piezas individualmente (aprox 100-150€). [34]

Con la información anterior, supondremos que el coste de homologación de nuestro vehículo será igual al coste de producción de la 1 unidad por modelo, que será la que sufrirá los ensayos, más los 500 € que deben pagarse por cada uno en materia de tasas y ensayos. Ya que estamos hablando de 5 homologaciones, el precio total será 5 veces el coste de producción de 1 vehículo tipo, más 5 veces las tasas de homologación. Esto se recoge en los Anexos, documento Excel "Bills of Materials", hoja "Modelo de Costes".

5.2 COSTES TOTALES Y PRECIO OBJETIVO

Con los precios anteriores y las unidades que podemos producir, podríamos concluir en los siguientes PVP:

Costes	Descripción	Costes (€)
Coste materiales	Suma de la adquisición de componentes	5.787,00 €
Costes unitario de Producción	44 €/h operarios * Tiempo Ciclo	915,20 €
Costes unitario de Estructuras	20 €/h estructuras * Tiempo Ciclo	416,00 €
Costes homologación	5*(Coste producción + Tasas homologación)	38.091,00 €
Coste homologación Unitario	Coste legal/ Nº uds (anuales)	30,72 €
Coste total unitario		7.210,36 €
Precio (incluyendo un 25 % margen)		9.012,94 €

Tabla 10. Costes Generales

Viendo los costes anteriores, somos capaces de ofrecer un PVP que ronde los 9000€, incluyendo nuestro beneficio industrial. Este precio dista del precio que ofrecen nuestros competidores, pero debemos tener en cuenta lo dura que es la legislación en España, ya que no se reciben ayudas y la homologación tan rígida penaliza nuestro proceso.

Además, se está suponiendo que se nos permite homologar un vehículo como conjunto replicable y que por lo tanto no requerimos realizar el proceso cada vez que entreguemos una unidad.

Si nos pusiésemos en el supuesto de que el estado subvencionase el Retrofit al igual que subvenciona la adquisición de vehículos híbridos y eléctricos hasta con los 7000€ que ahora mismo se otorgan, el Retrofit tendría una seria ventaja competitiva respecto al EV de nueva fabricación.

Aún así, si compráramos nuestro precio con el del EV más barato en el mercado, estamos reduciendo la Barrera de entrada del sector hasta un 50%.

6 CONCLUSIONES

Lo primero que me gustaría destacar es el escenario desfavorable en el que este TFG se ha desarrollado:

Vivimos últimamente una reciente crisis de Semiconductores, una escalada de varios órdenes de magnitud en los precios desorbitados del Litio (octuplicados en la última década y la gran dependencia de la industria del EV a este). Además, no podemos olvidarnos del periodo la inflación provocada por el inicio de la guerra de Ucrania, generando una escalada de precios en los últimos años.

Por otra parte los fabricantes de EV han reducido su márgen para ser ganar cuota de mercado. Tesla ha provocado este movimiento reduciendo su margen a principios de este año (anteriormente en nada menos que 10.000\$ por vehículo. [35] [36]

Cuando los precios suben, y la inflación sube, la gran empresa lucha de manera mucho más eficiente contra la subida de costes que un minorista, por lo que sus precios son más competitivos y por lo tanto nuestra diferenciación con respecto a ellos disminuye.

Si el objetivo principal de este TFG era proporcionar al consumidor una alternativa asequible para todos los bolsillos, creo que es justo decir que no se ha cumplido totalmente. Es por esto que intentamos ofrecer un enfoque a gran escala que pueda competir contra la industria de movilidad eléctrica, aun estando distantes de los presupuestos que emplean las casas de automoción.

Por otra parte, el desarrollo de la tecnología de Baterías permitirá la reducción de los precios de los componentes (el 70% de los costes del vehículo son motor y baterías). Este sector está desarrollándose a gran velocidad, pudiendo hablarse incluso de carrera tecnológica, por lo que esto podría permitir que en pocos años se produzcan baterías de bajo coste, reciclables y con precios competitivos. Esto es, en mi opinión, el factor determinante para la adopción o desaparición de la movilidad eléctrica, y en particular del Retrofit, ya que se reducirán en gran medida los costes y por tanto el mercado permitirá la entrada de más consumidores .

Además, veo conveniente destacar que en la actualidad el sector eléctrico goza de subvenciones de hasta 7000 € para la adquisición de un vehículo de 0 emisiones. En España, esta subvención NO se ofrece en el momento de la adquisición, sino meses después de esta, por lo que no es una ayuda directa al acceso a este mercado. Además, esta subvención se percibe como un ingreso extraordinario de patrimonio, por lo que se le cobran impuestos al final del año fiscal. En resumen, desde mi punto de vista es una ayuda poco eficiente para el usuario, y eficiente a nivel político y económico para el estado.

Si se compara con otras ayudas de otros países para el mismo sector, estos ofrecen exenciones fiscales, compensando así la compra con una taxación más laxa y no susceptible de impuestos al no contar como ingreso patrimonial.

La conversión de ICV a EV NO es elegible para estas subvenciones a día de hoy (a pesar de Si obtiene el vehículo la pegatina de 0 emisiones por parte de la DGT). Estas ayudas podrían facilitar en gran medida las conversiones y hacerlas ampliamente viables para la mayoría, reduciendo las emisiones no únicamente en el ahorro de combustible, sino en las emisiones generadas por la producción de nuevos componentes.

Si el gobierno facilita estas ayudas para la electrificación del parque automovilístico en España, lo coherente desde mi punto de vista sería facilitar además el Retrofit de vehículos, haciendo del parque uno más sostenible y duradero.

La tecnología de conversión de vehículos sí puede realizarse a escala industrial, y como se ha demostrado ofrece precios más competitivos y opciones medioambientalmente sostenibles para el consumidor. El principal escollo que se encuentra, como se ha relatado anteriormente, es la homologación, y diría que junto con el elevado precio de las baterías, son los factores que distancian el Retrofit de una adopción a gran escala.

REFERENCIAS

- [1 L. i. d. c. e. p. Á. Sauras, «La idiotez del coche eléctrico por Álvaro Sauras,» [En línea]. Available:] <https://www.youtube.com/watch?v=WBIKw5GJeNo>. [Último acceso: 10 Enero 2023]
- [2 «quecohemecompro,» [En línea]. Available:] <https://www.quecohemecompro.com/blog/comparativa-coches-electricos-guia-de-compra/>. [Último acceso: 20 Enero 2023]
- [3 G. d. España, «Emisiones del sector transporte en España,» [En línea]. Available:] <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/transporte.aspx#:~:text=El%20sector%20transporte%20representa%20el,emisiones%20de%20los%20sectores%20difusos.> . [Último acceso: 5 Febrero 2023]
- [4 Motor Pasión, [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/futuro-movimiento/no-vamos-a-poder-comprar-coches-nuevos-gasolina-diesel-a-partir-2035-europa-se-mantiene-firme-su-prohibicion>. [Último acceso: 12 Marzo 2023]
- [5 C. Dictionary, «Cambridge Dictionary,» [En línea]. Available:] <https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/ingles/retrofit>. [Último acceso: 10 Enero 2023]
- [6 «Motor Pasión,» [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/coches-electricos/retrofit-fascinante-arte-convertir-coche-gasolina-diesel-electrico-20210426>. [Último acceso: 25 Enero 2023]
- [7 «ChargeGuru,» Enero 2023. [En línea]. Available: <https://chargeguru.com/es/2023/01/30/retrofit-electrico-como-hacerlo-para-tu-coche-y-a-que-precio/>. [Último acceso: 23 Enero 2023]
- [8 A. Basurco Hernández de Santamaría, Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo, TFG GITI] ICAI.
- [9 «VerdeYAzulDiario,» [En línea]. Available: <https://verdeyazul.diarioinformacion.com/coches-electricos.html#:~:text=Por%20primera%20vez%2C%20un%20organismo,menos%20de%20contaminantes%20al%20aire..> [Último acceso: 22 Marzo 2023]
- [1 G. d. España, «[https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-0\)medidas/transporte.aspx#:~:text=El%20sector%20transporte%20representa%20el,emisiones%20de%20los%20sectores%20difusos.](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-0)medidas/transporte.aspx#:~:text=El%20sector%20transporte%20representa%20el,emisiones%20de%20los%20sectores%20difusos.),» [En línea]. [Último acceso: 10 Abril 2023]
- [1 F. Hoeft, «Internal combustion engine to electric vehicle retrofitting: Potential customer’s needs, 1] public perception and business model implications».
- [1 P. I. College of Engineering y I. Army Institute of Technology Pune, «Analysis of critical issues in 2] retrofitting of ICE vehicles».
- [1 N. G. V. K. a. P. B. K. Rajlaxmi Darekar1, “Analysis of critical issues in retrofitting of ICE vehicles,” 3] [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2070/1/012151/meta>.
- [1 E. Co, «Conversion of Jaguar E-type,» [En línea]. Available: 4] <https://www.electrogenic.co.uk/cars/electric-e-type>. [Último acceso: 20 Abril 2023]

- [1 H. Mazumder, «LAYOUT FOR RETROFITTING AN ELECTRIC VEHICLE,» Melbourne, 2015.
5]
- [1 M. Ferrell, «Undecided by Matt Ferrell,» [En línea]. Available:
6] <https://www.youtube.com/watch?v=n1TBAWIbXKI>.
- [1 MotorPasión. [En línea]. Available: [https://www.motorpasion.com/coches-electricos/que-cuesta-7\] bateria-coche-electrico-8-000-euros-renault-zoe-26-900-euros-tesla-model-s](https://www.motorpasion.com/coches-electricos/que-cuesta-7] bateria-coche-electrico-8-000-euros-renault-zoe-26-900-euros-tesla-model-s). [Último acceso: 15 Marzo 2023]
- [1 Elektrum Cars, [En línea]. Available: [http://elektrun.com/category/tutoriales-conversion-a-8\] electrico/](http://elektrun.com/category/tutoriales-conversion-a-8] electrico/). [Último acceso: 15 Marzo 2023]
- [1 «autonoción.com/partes del motor eléctrico,» [En línea]. [Último acceso: 10 Febrero 2023]
9]
- [2 «partesdel.com,» [En línea]. Available: <https://www.partesdel.com/automovil.html>. [Último acceso: 3
0] Marzo 2023]
- [2 «Retrofit Volkswagen Escarabajo,» [En línea]. Available:
1] <https://www.youtube.com/watch?v=2VTMt4kt454>.
- [2 J. Costas Franco, «ForoCochesElectricos,» [En línea]. Available:
2] <https://forococheselectricos.com/2021/07/el-citroen-ds-clasico-electrico-el-restomod-de-electrogenic.html>.
- [2 «iveconsultores,» [En línea]. Available: <https://iveconsultores.com/que-es-iso-9001/>.
3]
- [2 «Coches.net,» 5 Junio 2022. [En línea]. Available: [https://www.coches.net/noticias/la-intencion-de-4\] comprar-un-vehiculo-sigue-al-alza-en-espana#:~:text=Algo%20m%C3%A1s%20de%20cuatro%20de,en%20movilidad%20I%C3%ADder%20en%20Espa%C3%B1a..](https://www.coches.net/noticias/la-intencion-de-4] comprar-un-vehiculo-sigue-al-alza-en-espana#:~:text=Algo%20m%C3%A1s%20de%20cuatro%20de,en%20movilidad%20I%C3%ADder%20en%20Espa%C3%B1a..)
- [2 «BlogOcasiónPlus,» [En línea]. Available: [https://blog.ocasionplus.com/estudio-compra-coches-5\] segunda-mano-espana/#:~:text=M%C3%A1s%20de%20la%20mitad%20\(el,entre%206.000%20y%209.000%20%E2%82%AC..](https://blog.ocasionplus.com/estudio-compra-coches-5] segunda-mano-espana/#:~:text=M%C3%A1s%20de%20la%20mitad%20(el,entre%206.000%20y%209.000%20%E2%82%AC..)
- [2 J. d. Andalucía, 2023. [En línea]. Available:
6] <https://www.juntadeandalucia.es/servicios/sede/tramites/procedimientos/detalle/12589.html>.
- [2 «forohomologar,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.forohomologar.com/informe-de-7\] conformidad-y-certificado-de-conformidad/#:~:text=Tras%20la%20reforma%20de%20un,no%20tendr%C3%A1s%20problemas%20en%20pasarla..](https://www.forohomologar.com/informe-de-7] conformidad-y-certificado-de-conformidad/#:~:text=Tras%20la%20reforma%20de%20un,no%20tendr%C3%A1s%20problemas%20en%20pasarla..) [Último acceso: 25 Abril 2023]
- [2 «Enac,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.enac.es/quiero-acreditarme>. [Último acceso: 25
8] Abril 2023]
- [2 «Rankia,» [En línea]. Available:

- 9] mba/5011550-que-son-criterios-asg-esg-donde-puedo-formarme-estos. [Último acceso: 25 Abril 2023]
- [3 F. Quatrin, «PortalMovilidad.com,» [En línea]. Available: [https://portalmovilidad.com/la-conversion-0\] de-termico-a-electrico-es-mas-carro-que-comprar-un-coche-nuevo/](https://portalmovilidad.com/la-conversion-0] de-termico-a-electrico-es-mas-carro-que-comprar-un-coche-nuevo/). [Último acceso: 12 Abril 2023]
- [3 «Club.autodoc,» Marzo 2021. [En línea]. Available: [https://club.autodoc.es/magazin/convertir-un-1\] coche-electrico-retrofit-y-homologarlo](https://club.autodoc.es/magazin/convertir-un-1] coche-electrico-retrofit-y-homologarlo). [Último acceso: 27 Abril 2023]
- [3 «infotaller,» 2021. [En línea]. Available: [https://www.infotaller.tv/reparacion/claves-calcular-2\] presupuesto-precio-hora-mecanico-Serca_0_1535246494.html#:~:text=La%20mano%20de%20obra%20se%20calcula%20por%20hora%20de%20trabajo.&text=En%20este%20sentido%2C%20cada%20taller,los%2040%20euros%20por%20h o](https://www.infotaller.tv/reparacion/claves-calcular-2] presupuesto-precio-hora-mecanico-Serca_0_1535246494.html#:~:text=La%20mano%20de%20obra%20se%20calcula%20por%20hora%20de%20trabajo.&text=En%20este%20sentido%2C%20cada%20taller,los%2040%20euros%20por%20h o). [Último acceso: 22 Abril 2023]
- [3 «Motorpasion.com,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.motorpasion.com/coches-3\] electricos/retrofit-fascinante-arte-convertir-coche-gasolina-diesel-electrico-20210426#:~:text=El%20proceso%20de%20reforma%20para,unos%207.000%20euros%20en%20ensa yos..](https://www.motorpasion.com/coches-3] electricos/retrofit-fascinante-arte-convertir-coche-gasolina-diesel-electrico-20210426#:~:text=El%20proceso%20de%20reforma%20para,unos%207.000%20euros%20en%20ensa yos..)
- [3 «Gevepro.com,» [En línea]. Available: [https://gevepro.com/homologacion-itv-modificaciones-4\] vehiculos/](https://gevepro.com/homologacion-itv-modificaciones-4] vehiculos/).
- [3 Reuters. [En línea]. Available: [https://www.reuters.com/business/autos-transportation/tesla-cuts-5\] prices-electric-vehicles-us-market-2023-01-13/](https://www.reuters.com/business/autos-transportation/tesla-cuts-5] prices-electric-vehicles-us-market-2023-01-13/).
- [3 E. Viking. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=Y1Y Tup_gPxQ.
6]
- [3 Autor, «Este es el ejemplo de una cita,» *Tesis Doctoral*, vol. 2, nº 13, 2012.
7]
- [3 «Edad media del parque automovilístico en España,» [En línea]. [Último acceso: 15 Enero 2023]
9]
- [4 [En línea]. Available: [https://www.directindustry.es/prod/friwo/product-238255-0\] 2498049.html#:~:text=La%20VCU%20se%20utiliza%20para,protecci%C3%B3n%20necesaria%20contra%20el%20robo..](https://www.directindustry.es/prod/friwo/product-238255-0] 2498049.html#:~:text=La%20VCU%20se%20utiliza%20para,protecci%C3%B3n%20necesaria%20contra%20el%20robo..)
- [4 [En línea]. Available: [https://blog.wearedrew.co/mcu-main-control-unit-que-1\] es#:~:text=La%20sigla%20MCU%20podr%C3%ADa%20traducirse,pines%20anal%C3%B3gicos%20y%20pines%20digitales..](https://blog.wearedrew.co/mcu-main-control-unit-que-1] es#:~:text=La%20sigla%20MCU%20podr%C3%ADa%20traducirse,pines%20anal%C3%B3gicos%20y%20pines%20digitales..)
- [4 [En línea]. Available: [https://blog.midas.es/consejos-y-mantenimiento/ecu-que-es-como-2\] funciona/#:~:text=ECU%20es%20el%20acr%C3%B3nimo%20de,que%20pasa%20en%20el%20motor..](https://blog.midas.es/consejos-y-mantenimiento/ecu-que-es-como-2] funciona/#:~:text=ECU%20es%20el%20acr%C3%B3nimo%20de,que%20pasa%20en%20el%20motor..)
- [4 «<https://skill-lync.com/student-projects/final-project-design-of-an-electric-vehicle-306,>» [En línea].
3]
- [4 «Conversión del citroen-ds-clasico-a-electrico-el-restomod-de-electrogenic.html,» [En línea].
4] Available: <https://forococheselectricos.com/2021/07/el-citroen-ds-clasico-electrico-el-restomod-de->

electrogenic.html.

[4 «¿Qué significa WLTP?,» [En línea]. Available: [https://www.autorallye.es/sabes-que-es-el-5\) wltpl/#:~:text=WLTP%20es%20el%20acr%C3%B3nimo%20de,y%20los%20veh%C3%ADculos%20comerciales%20ligeros\)..](https://www.autorallye.es/sabes-que-es-el-5) wltpl/#:~:text=WLTP%20es%20el%20acr%C3%B3nimo%20de,y%20los%20veh%C3%ADculos%20comerciales%20ligeros)..) [Último acceso: 22 Enero 2023]

[4 «Definición formal Aparamenta según el Reglamento Eléctrico de Baja Tensión,» [En línea]. Available: [6] <https://www.electricistasdelafuentemadrid.com/terminos-electricos/aparamenta/>.

[4 T. M. Banegil Collado, «DISEÑO DE LOS SOPORTES MOTOR Y ACOPLÉS DE TRANSMISIÓN PARA LA 7] CONVERSIÓN DE UN MAZDA MX5 A VEHÍCULO ELÉCTRICO,» Madrid, 2021.

[4 G. d. España. [En línea]. Available: [https://industria.gob.es/Calidad-8\) Industrial/vehiculos/Documents/Manual%20de%20Reformas%20de%20Veh%C3%ADculos%20Revisi%C3%B3n%207.pdf](https://industria.gob.es/Calidad-8) Industrial/vehiculos/Documents/Manual%20de%20Reformas%20de%20Veh%C3%ADculos%20Revisi%C3%B3n%207.pdf).

[4 «Categorías de Vehículos,» [En línea]. Available: [https://sie.fer.es/recursos/richImg/doc/18207/24-9\) 09-12%20Categor%C3%ADas%20de%20veh%C3%ADculos.pdf](https://sie.fer.es/recursos/richImg/doc/18207/24-9) 09-12%20Categor%C3%ADas%20de%20veh%C3%ADculos.pdf).

[5 Yamovil. [En línea]. Available: [https://www.yamovil.es/sobre-coches-y-concesionarios/coches-0\) utilitarios-mas-vendidos/](https://www.yamovil.es/sobre-coches-y-concesionarios/coches-0) utilitarios-mas-vendidos/).

[5 nelvautocenter. [En línea]. Available: [https://nelvautocenter.com/listado-de-los-coches-mas-1\) vendidos-en-2015/#Vehiculos_Urbanos](https://nelvautocenter.com/listado-de-los-coches-mas-1) vendidos-en-2015/#Vehiculos_Urbanos).

[5 Autocasión. [En línea]. Available: [https://www.autocasion.com/actualidad/noticias/las-ventas-de-2\) coches-crecieron-un-33-en-2013-con-722-703-unidades](https://www.autocasion.com/actualidad/noticias/las-ventas-de-2) coches-crecieron-un-33-en-2013-con-722-703-unidades).

[5 ActualidadMotor. [En línea]. Available: [https://www.actualidadmotor.com/diez-utilitarios-mas-3\) vendidos-2017/](https://www.actualidadmotor.com/diez-utilitarios-mas-3) vendidos-2017/). [Último acceso: 30 Diciembre 2022]

[5 ActualidadMotor, 2017. [En línea]. Available: [https://www.actualidadmotor.com/diez-utilitarios-mas-4\) vendidos-2017/](https://www.actualidadmotor.com/diez-utilitarios-mas-4) vendidos-2017/). [Último acceso: 30 Diciembre 2022]

[5 Motorpasión, 2020. [En línea]. Available: [https://www.motorpasion.com/industria/dacia-sandero-5\) coche-vendido-2020-utilitario-acaba-reinado-seat-leon](https://www.motorpasion.com/industria/dacia-sandero-5) coche-vendido-2020-utilitario-acaba-reinado-seat-leon). [Último acceso: 30 Diciembre 2022]

[5 SoyMotor, 2021. [En línea]. Available: [https://soymotor.com/coches/noticias/fiat-punto-sucesor-6\) 989401](https://soymotor.com/coches/noticias/fiat-punto-sucesor-6) 989401). [Último acceso: 30 Diciembre 2022]

[5 Autocasión, [En línea]. Available: <https://www.autocasion.com/marcas/fiat/500-compactos>. [Último 7] acceso: 12 Enero 2023]

[5 Actualidad Motor, «fiat 500e,» [En línea]. Available: [8] <https://www.actualidadmotor.com/coches/fiat/500e/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022]

[5 ActualidadMotor, «Volkswagen eléctrico,» [En línea]. Available: [9] <https://www.actualidadmotor.com/coches/volkswagen/volkswagen-up/>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022]

[6 Km77, 2020. [En línea]. Available:

0] up/e-up/datos . [Último acceso: 30 Diciembre 2022]

[6 Km77.com, «Ficha técnica Seat Mii electric,» [En línea]. Available: 1] <https://www.km77.com/coches/seat/mii/2020/5-puertas/electric/mii-electric/datos>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022]

[6 motor.es, «ficha técnica fiat 500e,» [En línea]. Available: <https://www.motor.es/noticias/fiat-500-2-electrico-mas-barato-202287659.html>. [Último acceso: 30 Diciembre 2022]

[6 Actualidad Motor, «Datos técnicosMini se,» 2022. [En línea]. Available: 3] <https://www.actualidadmotor.com/coches/mini/mini-hatchback/> . [Último acceso: 30 Diciembre 2022]

[6 «El confidencial,» 2021. [En línea]. Available: 4] https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2021-05-06/coches-electricos-inversor-de-corriente-sic_3065032/.

[6 «Statista,» [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/635518/ventas-de-vehiculos-en-todo-el-mundo/>.

[6 «PortalMovilidad.com,» Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://portalmovilidad.com/la-conversion-de-termico-a-electrico-es-mas-caro-que-comprar-un-coche-nuevo/>.

[6 «Empresaactual.com,» Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.empresaactual.com/economia-de-escala-el-equilibrio-perfecto/#:~:text=Las%20econom%C3%ADas%20de%20escala%20reducen,de%20escala%20tiene%20un%20l%C3%ADmite..>

[6 «ine.es,» 2019. [En línea]. [Último acceso: 2 Mayo 2023] 8]

[6 «datosmacro.expansion.com,» 2022. [En línea]. Available: 9] <https://datosmacro.expansion.com/negocios/matriculaciones-vehiculos/espana?anio=2022>.

[7 «Redestelecom,» 2021. [En línea]. Available: 0] <https://www.redestelecom.es/mercado/noticias/1129587032603/smart-quality-gates-ia-aplicada-ingenieria-de-calidad.1.html>.

GLOSARIO

ISO: International Organization for Standardization	31
Real Decreto 1457/1986	58
Real Decreto 866/2010	41