



**Desarrollo y Mejoramiento de la Ingeniería de Requerimientos del Software de
Navegación Electrónica de Vehículos Híbridos Categoría E-Tech.**

Camilo José Sierra Otero

Trabajo final de pregrado para el título de Ingeniero Aeroespacial

Asesor Interno

Diego Francisco Hidalgo Lopez, PhD.

Asesor Externo

Jhoan Sebastián Giraldo Valderrama, PhD.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Aeroespacial

Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia

2024

Cita	Sierra Otero, 2024 [1]
Referencia	[1] Sierra Otero, C. “Desarrollo y Mejoramiento de la Ingeniería de Requerimientos del Software de Navegación Electrónica de Vehículos Híbridos Categoría E-Tech.”, Proyecto final de pregrado, Ingeniería Aeroespacial, Universidad de Antioquia, Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia,2024.
IEEE (2020)	



Astra Research Group



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Chancellor: John Jairo Arboleda Cespedes.

Dean: Julio Cesar Saldarriaga.

Chair: Pedro Leon Simancas.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mis padres Yael y Jose Ángel, mis hermanos, a mi muy querida abuela y a todos los docentes que hicieron parte de este proceso formativo y que siempre me han brindado un excelente acompañamiento. Han sido todos un soporte fundamental en mi crecimiento y mi formación no sólo como estudiante, sino como ser humano. Gracias por apoyarme siempre y por enseñarme los valores y la disciplina necesaria para seguir siempre adelante.

Agradecimientos

Quiero hacer un agradecimiento especial a mi asesor interno, el profesor y doctor Diego Francisco Hidalgo Lopez, por su guía experta en los proyectos, sus acertados consejos, por ayudarme a perfilar mi carrera profesional de manera asertiva y brindarme, mediante su experiencia docente y de calidad humana, lineamientos para crecer como ingeniero aeroespacial y como persona. Agradezco también a mi asesor externo, Sebastián Giraldo, por brindarme la total confianza para hacer parte de FEV Iberia, empresa de la cual me he sentido un miembro más de la familia y de la que he logrado extraer valiosos aprendizajes.

Así mismo, extendiendo mis agradecimientos hacia los docentes de ingeniería aeroespacial de la Universidad de Antioquia y de mi colegio Liceo León de Greiff, quienes sentaron las bases fundamentales para forjar mis sueños y seguir adelante con mis metas; a mi familia que siempre estuvo presente en todos los momentos especiales de mi vida, a mi pareja que me ha brindado compañía incondicional y a mis compañeros que me brindaron un enorme apoyo y alegraron todo el trayecto de mi carrera.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
I INTRODUCCIÓN	6
II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
III JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	11
IV OBJETIVOS	13
A Objetivo general	13
B Objetivos específicos	13
V MARCO CONCEPTUAL	14
A Sistema	14
B Requerimiento	14
C Ingeniería de Requerimientos (RE)	14
D Stakeholder	15
E Coche Microhíbrido o Mild Hybrid (MHEV)	15
F Coche Enchufable o Plug-In Hybrid (PHEV)	15
G E-Tech	15
H Conjunto de Planta Motriz (PWT)	16
I Gestión Híbrida (HM)	16
J THEO	16
K PKM	17
L HPEO	17
M ICE	17
N ME	17
Ñ HSG	18

O	HEVC	18
P	HECM	18
Q	SOC	18
R	USOC	18
VI	ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	19
VII	METODOLOGÍA	24
A	Cronograma de actividades	28
B	Ampere Change Requests o ACRs	30
C	Presupuesto	31
VIII	RESULTADOS OBTENIDOS	32
A	Memorización del valor de la masa de un vehículo para la optimización de un trayecto para la función de towing.	32
B	Optimización de la gestión energética en la batería del sistema eNav	39
C	Justificación de la operación nominal del eNav a los stakeholders	41
D	Creación de un botón para el cambio de combustible a LPG desde la perspectiva de la gestión de hibridación	43
IX	CONCLUSIONES	49
	REFERENCES	52

LISTA DE TABLAS

Table I	Listado de señales, sus estados y sus enlaces entre ECUs.	47
---------	---	----

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1	Esquema de los procesos federativos de desarrollo de sistemas y sus etapas entregables [1]	26
Fig. 2	Esquema de los entregables desprendibles del O52 a partir del SDR1 [1]	27
Fig. 3	Cronograma de actividades del proyecto hasta el lanzamiento del vehículo.	28
Fig. 4	Cronograma detallado que contiene las actividades de trabajo de los equipos de ingeniería.	29
Fig. 5	Estado de operación de los vehículos sin la función de almacenamiento de masa incorporada (nótese el riesgo de <i>derating</i> en casos de ascenso con una masa mayor).	33
Fig. 6	Estado de operación de los vehículos una vez implementada la función de la memorización de la masa.	35
Fig. 7	Actualización del requerimiento 500 en DOORS para la memorización de la masa.	36
Fig. 8	Simulación realizada para la validación del requerimiento 503.	38
Fig. 9	Representación en Simulink del algoritmo realizada por el equipo de software y algoritmo.	38
Fig. 10	Se observa como el valor de USOC trata de estar lo más cercano a 99%, impactando directamente al rendimiento del ICE como lo indica la variable <code>Vxx_eng_crksft_sp_tq</code>	40
Fig. 11	Representación de la limitación creada a partir de una variable de calibración (<code>HM_eNavigationUSOCTargetMaxCalib</code>) para poder mantener dentro de un intervalo aceptable al valor del estado de carga una vez definida una ruta (<code>HM_eNavigationUSOCTargetMaxOpti</code>).	41
Fig. 12	Diagrama de arquitectura funcional entre las diferentes unidades de control electrónica (ECU) del vehículo hasta llevar la señal al display.	44

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

RE	Requirements Engineering
HEV	Hybrid Electric Vehicle
MHEV	Mild Hybrid Electric Vehicle
PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
PWT	Powertrain System
HM	Hybrid Management System
THEO	Trip Hybrid Energetic Optimization Subsystem
ENAV	Electronic Navigation
HPEO	Hybrid Power Energetic Optimization Subsystem
ICE	Internal Combustion Engine
ME	Electric Motor
HSG	Hybrid Starter Generator
HEVC	Hybrid Electronic Vehicle Controller
HECM	Hybrid Electronic Control Module
SOC	State of Charge
USOC	User State of Charge
NVH	Noise Vibration & Harshness
HDC	Hill Descent Control
ECU	Electronic Control Unit

RESUMEN

Desde la perspectiva de la ingeniería de sistemas, la ingeniería de requerimientos (RE) es un proceso sistemático fundamental centrado en la elaboración de sistemas complejos ingenieriles y en sus etapas de desarrollo (definición, documentación y mantenimiento de los requisitos que debe cumplir un proceso de diseño). Esta metodología proporciona perspectivas multidisciplinarias que abarcan los requerimientos de los interesados (*stakeholders*), ingenieros y proveedores a través de esquemas y conexiones lógicas, lo cual facilita la comprensión integral de los sistemas y sus limitantes. Además, describe los procesos de validación y revisión necesarios para cumplir con dichos requerimientos.

Con el propósito de poner en práctica los conceptos, el presente proyecto desarrollará los requerimientos funcionales del subsistema de navegación electrónica (eNav) del sistema de gestión híbrida de un vehículo que dispone de dos modos: eléctrico y combustión interna con gasolina. El establecimiento de los requerimientos para el software eNav estará enfocado en optimizar el subsistema y su interacción con ambos modos de operación. Debido a que el desempeño del vehículo híbrido depende de la correcta integración entre sus sistemas, se debe elaborar un análisis de las interacciones del sistema híbrido con las exigencias de la planta motriz, el subsistema de navegación y optimización de ruta, partiendo de un conjunto de limitaciones que abarcan las exigencias de las partes interesadas, las restricciones de seguridad, la legislación ambiental europea y los requerimientos operacionales establecidos para el funcionamiento nominal del vehículo.

Palabras clave — Ingeniería de sistemas, ingeniería de requerimientos, vehículos híbridos

ABSTRACT

From a system engineering perspective, Requirements Engineering (RE) is a fundamental systematic process focused on the development of complex engineering systems and their evolution stages (definition, documentation, and maintenance of the requirements that a design process must meet). This methodology provides multidisciplinary perspectives that encompass the requirements of stakeholders, engineers, and suppliers through logical frameworks and connections, which facilitates a comprehensive understanding of systems and their limitations. Additionally, it outlines the validation and review processes necessary to meet these requirements.

In order to apply these concepts, this project will develop the functional requirements for the electronic navigation subsystem (eNav) of the hybrid management (HM) system in a vehicle that operates in two modes: electric and internal combustion with gasoline. The establishment of requirements for the eNav software will focus on optimizing the subsystem and its interaction with both modes of operation. Since the performance of the hybrid vehicle depends on the correct integration of its systems, an analysis must be conducted on the interactions between the hybrid system, the powertrain demands, the navigation subsystem, and route optimization, based on a set of limitations that include stakeholder demands, safety restrictions, European environmental legislation, and the operational requirements established for the vehicle's nominal operation.

Keywords — Systems engineering, requirements engineering, hybrid vehicles

I. INTRODUCCIÓN

En respuesta a la creciente demanda de soluciones de transporte amigables con el medio ambiente, al robustecimiento de las leyes europeas respecto a la emisión de gases y a la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, el desarrollo de vehículos híbridos (HEV) ha surgido como un camino prometedor en la industria automotriz. Los vehículos híbridos integran múltiples sistemas de propulsión, típicamente combinando un motor de combustión interna con energía eléctrica, para mejorar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. La solución ha demostrado ser en las dos últimas décadas una alternativa prometedora, viéndose reflejado en su representación en el mercado de autos europeos con un porcentaje del 28.9 % de nuevos vehículos híbridos a principios del año 2024 con respecto al total de autos registrados [2]. Motivado por el robustecimiento de las leyes ambientales sobre la prohibición de los vehículos de combustión interna para el año 2035 en la Unión Europea y las políticas de reducción de gases contaminantes, la industria automotriz está sufriendo una transición hacia este nuevo tipo de automóviles que permiten optimizar el rendimiento del vehículo y cumplir con la legislación correspondiente. En base a esta problemática y el auge de nuevas soluciones de ingeniería para cumplir con la nueva agenda ambiental, el presente proyecto se propone a contribuir a la innovación continua en la tecnología de vehículos híbridos mediante la exploración y análisis de los requerimientos y el diseño de la arquitectura de los sistemas de gestión híbrida y planta motriz para la adaptación del software de navegación y optimización de trayecto a los nuevos sistemas adaptados a los nuevos vehículos HEV.

El funcionamiento de la gestión híbrida de los vehículos está destinado para que el sistema funcione esencialmente alternando entre el modo de función a gasolina y el motor eléctrico, priorizando en este orden el modo de funcionamiento según lo más óptimo, lo cual es dictado directamente por el sistema de planta motriz (PTM) y el sistema de gestión híbrida (HM). El motor eléctrico en los vehículos de categoría híbridos ligeros o *Mild Hybrid* (MHEV) permite tener poca autonomía con energía eléctrica, por lo que su uso está esencialmente destina-

do a generar torque complementario en paralelo al motor de combustión interna, aunque también puede ser utilizado de manera exclusiva en rangos muy cortos. Este motor eléctrico también es utilizado para aprovechar la energía almacenada a partir del frenado regenerativo que puede ser consecuentemente empleada para apoyar en la generación de potencia del motor de combustión. Cabe recalcar que los vehículos híbridos convencionales (HEV) y los híbridos ligeros, no poseen la arquitectura para permitir carga externa de la batería como lo tendría un *Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV)*. Para realizar la optimización energética, es necesaria disponer de un sistema de navegación eléctrica asistida (eNav) que facilite la obtención de rutas óptimas para el ahorro de combustible y para determinar el conjunto de casos donde resulta mejor operar con alguno de los dos modos del que dispone el vehículo. Esta capacidad de selección del mejor modo está embebida dentro del sistema de gestión de hibridación (HM), donde, en base a los requerimientos que serán definidos, se hará la mejor elección en base al mejor ahorro energético para el vehículo.

El sistema eNav (*Electronic Navigation*) desempeña un papel fundamental en la optimización de la eficiencia del vehículo híbrido. Su función principal radica en la creación de rutas óptimas y la optimización de trayectos en base a el destino establecido por el usuario. Al calcular las rutas más eficientes, el sistema eNav contribuye directamente a maximizar el rendimiento del vehículo, minimizando el consumo de combustible y reduciendo las emisiones. Además, el eNav tiene un impacto significativo en la gestión del estado de carga del usuario (USOC, por sus siglas en inglés: *User State of Charge*), que representa la disponibilidad de energía de la batería para ser utilizada, por ejemplo, para generar aceleración cuando se requiere mayor torque. Al optimizar los trayectos, el sistema eNav puede influir en la planificación del uso de la energía almacenada en la batería, asegurando que esté disponible en los momentos críticos para proporcionar la potencia necesaria, lo que a su vez mejora la eficiencia general del vehículo y la experiencia del usuario. Es por ello que, para llevar a cabo el desarrollo de los requerimientos, se partirá desde la base de las necesidades y expectativas de las diferentes partes interesadas, incluidos el fabricante del vehículo, el fabricante del motor, los usuarios finales y los reguladores del sector automotriz. Este enfoque holístico permitirá comprender

las diversas perspectivas y prioridades involucradas en el desarrollo del vehículo, optimizando su diseño para satisfacer los requerimientos tanto de rendimiento como de sostenibilidad. Se espera obtener un conjunto claro y coherente de especificaciones técnicas que guíen el diseño y la implementación del sistema de propulsión híbrido y su integración con el sistema de optimización energética a través de la navegación.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión eficiente de los modos de operación en vehículos híbridos presenta un desafío clave debido a las limitaciones inherentes a su diseño tales como la autonomía variable del motor eléctrico (dependiente del tipo de motor y de la capacidad de la batería en el vehículo), esto requiere de una gestión inteligente para maximizar la eficiencia energética. Sin embargo, la selección del modo óptimo de operación ya sea eléctrico o de combustión, no siempre se realiza de manera eficiente, lo que impacta negativamente en el consumo de combustible y las emisiones del vehículo.

El sistema de navegación electrónica surge como una solución para mejorar la eficiencia operativa de los vehículos híbridos mediante la optimización de los trayectos y la gestión energética de la batería. A pesar de sus beneficios potenciales, este tipo de optimización es una función relativamente reciente, lo que conlleva a que desde la ingeniería de requerimientos se necesite de un monitoreo constante para integrar nuevas mejoras al subsistema y realizar correcciones a aquellas especificaciones que ya están implementadas pero que con el *feedback* de los usuarios y el seguimiento de la operación de los vehículos han demostrado tener impactos leves u opuestos en la optimización y ahorro energético. Esta necesidad constante de actualizaciones al subsistema surge porque, aunque la función ya ofrece beneficios significativos, su reciente implementación implica que aún existen áreas que deben ser mejoradas o ajustadas en base a la experiencia del cliente. Parte esencial de estos esfuerzos de ingeniería también implica realizar *Change Requests*, o modificaciones a algunos requerimientos en base a peticiones de los *stakeholders*. Esta labor de mantenimiento constante garantiza que el subsistema funcione de manera confiable sin comprometer la integridad de los sistemas críticos del vehículo híbrido, como la gestión del motor o el almacenamiento de energía. La optimización y el mejoramiento continuo es clave, ya que se busca que el sistema de navegación no solo facilite la eficiencia energética en términos de consumo de combustible y reducción de emisiones, sino que también se mantenga alineado con las expectativas del usuario y las normativas vigentes. Esto significa que la ingeniería de requerimientos debe estar

enfocada tanto en solucionar problemas emergentes como en anticipar necesidades futuras, proponiendo mejoras que optimicen aún más la gestión energética del vehículo y garanticen una operación segura y confiable en todo momento.

Por lo tanto, se plantea la necesidad de desarrollar un conjunto claro y coherente de requerimientos técnicos que guíen el diseño del sistema eNav y su integración con el sistema de gestión híbrida. Estas especificaciones deben tener en cuenta las necesidades de las partes interesadas, incluyendo fabricantes, usuarios finales y reguladores, para garantizar que el vehículo híbrido opere de manera eficiente tanto en términos de rendimiento como de sostenibilidad.

III. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La justificación de este proyecto radica en el contexto actual de la transición energética que está experimentando Europa, impulsada por la necesidad de adoptar alternativas más amigables con el medio ambiente y reducir significativamente los gases de efecto invernadero. Esta transformación está siendo acelerada por políticas estrictas de reducción de emisiones y compromisos internacionales que buscan limitar el calentamiento global, como lo establece el Acuerdo de París. Un pilar fundamental en esta transición es la optimización del uso de la energía en los sistemas de transporte, especialmente en los vehículos híbridos y eléctricos, que juegan un rol clave en la evolución hacia una movilidad más sostenible. En particular, el mercado automotriz se enfrenta a una reducción progresiva de la producción de vehículos de combustión interna, con un objetivo claro para 2030 de limitar considerablemente la venta de este tipo de vehículos. Esta medida no solo marca el declive de los motores tradicionales, sino que también impulsa el crecimiento del mercado de vehículos híbridos y eléctricos. Los vehículos híbridos, al combinar un motor de combustión interna con uno eléctrico, representan un escalón intermedio crucial para la transición hacia la movilidad totalmente eléctrica ya que estos vehículos permiten reducir las emisiones mientras ofrecen una solución viable y adaptable a las infraestructuras de carga eléctrica que aún están en desarrollo.

El desarrollo y optimización del sistema de navegación electrónica para vehículos híbridos, está plenamente justificado dentro de este marco de transición; debido a la capacidad del subsistema de navegación para optimizar trayectos en base a una entrada del usuario y de gestionar de manera más eficiente el uso de la batería, se maximiza el rendimiento de los vehículos híbridos, se optimiza el consumo energético, y, por ende, se reduce la cantidad de emisiones de gases contaminantes. A medida que el mercado de vehículos híbridos se expande como respuesta a la transición hacia energías limpias, contar con sistemas que mejoren la eficiencia operativa de estos vehículos es imprescindible. La optimización de la energía, facilitada por un sistema de navegación inteligente, asegura que los coches híbridos puedan operar de manera más eficiente y sostenible, facilitando el camino hacia la electrificación total de la

movilidad y la eliminación de las emisiones derivadas de los motores de combustión interna. Este proyecto no solo responde a la necesidad de desarrollar tecnología avanzada para la optimización de la batería y el rendimiento en los vehículos híbridos, sino que también apoya los objetivos ambientales y económicos a largo plazo de la transición energética global.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar la ingeniería de requerimientos del software de navegación electrónica de vehículos híbridos de categoría E-Tech.

B. Objetivos específicos

- Identificar los requerimientos funcionales y de operación definidos por los stakeholders teniendo en cuenta la viabilidad de lo propuesto.
- Optimizar el sistema de gestión de navegación electrónica del vehículo para mejorar el consumo energético favoreciendo el cumplimiento de la nueva legislación en favor de alternativas energéticas más amigables con el medio ambiente.
- Definir nuevos requerimientos de operación y funcionalidad en la gestión del software de navegación eNav en base a las necesidades de operación requeridas.

V. MARCO CONCEPTUAL

A. Sistema

Un sistema es un arreglo de partes o elementos que en conjunto exhiben un comportamiento que sus constituyentes individuales no son capaces de presentar por sí mismos [3]. Es decir, son una combinación de elementos organizados que interactúan entre sí para alcanzar uno o más propósitos declarados [4]. Los sistemas conceptuales son abstracciones de información y no exhiben directamente un comportamiento físico, pero muestran significado. Las propiedades de dichos sistemas emergen de sus partes o elementos, sus propiedades individuales o sus relaciones e interacciones entre las partes, el sistema y el ambiente.

B. Requerimiento

Los requerimientos son necesidades físicas o atributos que describen funciones y características de un sistema que tienen valor o utilidad para un cliente o usuario. Los requerimientos son aquellos que proveen la base para todo el desarrollo de trabajo de un sistema [5].

C. Ingeniería de Requerimientos (RE)

Según el libro de texto de *Requirements Engineering for Software and Systems* de Phillip A. Laplante, la ingeniería de requisitos o requerimientos puede ser definida como un “La ingeniería de requerimientos es la rama de la ingeniería preocupada por los objetivos del mundo real, las funciones y las restricciones de los sistemas. También se preocupa por la relación de estos factores con las especificaciones precisas del comportamiento del sistema y su evolución con el tiempo y a lo largo de familias de sistemas relacionados” [6]. Es decir, la ingeniería de requerimientos es el proceso sistemático de desarrollo de limitaciones a través del análisis y documentación del problema, resultando en la creación de modelos de sistemas de ingeniería más precisos que abarcan los intereses y restricciones de las partes interesadas.

D. Stakeholder

Un stakeholder o parte interesada es un grupo o individuo que se ve afectado por o tiene un interés en un producto o proyecto.

E. Coche Microhíbrido o Mild Hybrid (MHEV)

Son vehículos que combinan un motor de combustión interna con un sistema de propulsión eléctrica. Se caracterizan por aprovechar la energía del frenado regenerativo y tener baterías pequeñas de 12, 24 o 48V [7]. El uso del motor eléctrico en este tipo de coches está enfocado sólo a apoyar al arranque desde cero y en la aceleración del vehículo, donde se requiere una mayor demanda de energía. El modo eléctrico es netamente auxiliar y no se tiene autonomía eléctrica.

F. Coche Enchufable o Plug-In Hybrid (PHEV)

Son vehículos que combinan un motor de combustión interna con un sistema de propulsión eléctrica que puede ser cargado a través de una fuente externa de energía. Se caracterizan por tener el mayor tamaño de batería de todos los tipos de vehículos híbridos, lo que les permite tener un mayor rango en su autonomía y funcionar con modos de operación totalmente eléctrico.

G. E-Tech

En Renault, los coches con motorizaciones E-Tech son todos aquellos vehículos que permiten circular en modo eléctrico. Este tipo de coches presenta una reducción en el consumo de carburante que puede oscilar entre el 40 % hasta el 75 % dependiendo del tipo de vehículo. En la actualidad, el sistema de navegación electrónica (eNav) sólo está disponible para este tipo de vehículos.

H. Conjunto de Planta Motriz (PWT)

Se refiere al conjunto de componentes que generan y transmiten la potencia para propulsar un vehículo, como lo es el motor, la transmisión, el embrague, eje de transmisión, diferencial y convertidor de par.

I. Gestión Híbrida (HM)

La sección de *Hybrid Management*, o Gestión Híbrida, es el sistema que supervisa y controla la interacción entre el motor de combustión interna y el motor eléctrico. Este módulo tiene como objetivo optimizar la eficiencia del sistema híbrido, maximizar el rendimiento del vehículo y minimizar las emisiones de gases contaminantes. Tiene tres subsistemas esenciales que interactúan entre sí para la gestión y optimización híbrida, estos son: THEO, PKM y HPEO.

J. THEO

Del término en inglés de *Trip Hybrid Energetic Optimization*, es el módulo subsistema de HM encargado de la optimización de la función energética, minimizar la emisión de contaminantes, de favorecer la utilización del sistema motriz eléctrico y de realizar recomendaciones al HPEO respecto a la gestión del uso de la batería. Tiene dos funciones especiales que permiten, mediante conexión on-stream recibir información en tiempo real satelital (eNAV) para favorecer la optimización del consumo de combustibles, haciendo recomendaciones de ruta y recibiendo información temprana de caminos con cambio de pendiente para favorecer la utilización de ambos motores en paralelo y generar o reducir la potencia del vehículo en base a su posición. Por otro lado, recibe información de las rutas y carreteras con información de su regulación de velocidad (EHorizon) para favorecer la gestión, ahorro y recarga de la batería del vehículo.

K. PKM

Del inglés *Perform Kinematic Mode*, es uno de los módulos subsistema de HM encargado del control del torque y las revoluciones durante el cambio de marcha, de definir los puntos de acople de la caja de cambios y evaluar el modo cinético del vehículo (tomar medida de los parámetros posicionales para consolidar la posición de acople de los engranajes). Envía información del requerimiento de torque a los demás subsistemas de HM para poder optimizar el cambio de marchas del vehículo.

L. HPEO

Del inglés *Hybrid Powertrain Energetic Optimization*, es uno de los módulos subsistema de HM encargado de la optimización energética del vehículo. Recibe información de los requerimientos del torque del sistema de planta motriz, de THEO y PKM para optimizar el uso de los combustibles y los cambios de modo del vehículo con el propósito de mejorar el rendimiento del vehículo, ahorrar el uso de la batería y obtener el mejor desempeño en la relación torque/rpm teniendo en cuenta los parámetros previamente mencionados. El subsistema HPEO se diferencia del THEO debido a que el último sólo sugiere y envía información de optimización que recibe de sus modos eNav y EHorizon al controlador HPEO pero no actúa directamente sobre el comportamiento del vehículo.

M. ICE

Del acrónimo en inglés de *Internal Combustion Engine*, es el motor de combustión interna del vehículo que dispone de combustible de gasolina o gas para su funcionamiento dependiendo de los requerimientos del usuario.

N. ME

Del acrónimo en francés de *Moteur Électrique*, es uno de los motores del vehículo híbrido, encargado de generar torque mediante energía eléctrica proveniente de una batería donde se almacena la energía.

Ñ. HSG

Del acrónimo en inglés de *Hybrid Starter Generator*, es el responsable del encendido del motor, de la generación de energía del vehículo, la carga de la batería cuando está en conexión con el ICE, la recuperación de la energía durante el frenado y de proveer torque adicional durante la aceleración rápida del vehículo.

O. HEVC

Del inglés *Hybrid or Electrical Vehicle Controller*, es la unidad de control electrónica responsable de gestionar el balance de energía entre el motor de combustión, el motor eléctrico y la interfaz del vehículo.

P. HECM

Del inglés *Hybrid Engine Control Module*, es la unidad responsable de controlar el ciclo de aire cerrado del motor de combustión interna cuando el HEVC solicita torque a la planta motriz.

Q. SOC

De las siglas en inglés de *State of Charge*, es la cantidad máxima de batería que posee el vehículo. Este parámetro puede verse diezmado por el paso del tiempo, el uso prologado del vehículo y las condiciones externas de temperatura.

R. USOC

De las siglas en inglés de *User State of Charge*, indica el valor de carga de la batería que posee el usuario al utilizar el vehículo, es presentado como un porcentaje que se muestra en pantalla y que exhibe de cuánta carga dispone el vehículo.

VI. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

La industria automotriz está experimentando una transformación significativa, con los automóviles de pasajeros modernos que dependen cada vez más de sistemas eléctricos/electrónicos y software para satisfacer las demandas cambiantes de los clientes y los requisitos regulatorios. Este cambio de paradigma subraya la importancia crítica de procesos sólidos de ingeniería de requerimientos para garantizar el desarrollo e integración exitosos de elementos mecánicos y eléctricos/electrónicos en los automóviles de pasajeros. Por ello, se realizará una revisión de la literatura de ingeniería de requerimientos según los estándares de la industria, abarcando varios proyectos afines que han implementado soluciones sistémicas similares y, de esta forma, partir como sustento de antecedentes para el desarrollo del presente proyecto.

Abogando por la transición de la industria automotriz de ser compañías netamente centradas en desarrollo de hardware y piezas mecánicas a ser industrias enfocadas alternadamente en la creación de software, el trabajo *“The Need of Complementing Plan-Driven Requirements Engineering with Emerging Communication: Experiences from Volvo Car Group”* [8] presenta una serie de investigaciones, entrevistas y prácticas en ingeniería de requerimientos, con un enfoque particular en la transición hacia metodologías ágiles en este campo. Los autores, en base a las experiencias recolectadas de varios empleados de una de las empresas de manufactura de vehículos más grande en Europa, subrayan la importancia creciente de la comunicación en la RE, así como la necesidad de adaptación rápida a las demandas del mercado y las regulaciones, lo que ha llevado a la industria a un cambio hacia prácticas ágiles. En el trabajo se resalta el papel cada vez más crucial del software en la industria automotriz, con un enfoque en la personalización y la introducción oportuna de nuevas características y tecnologías para mantener la competitividad; la implementación de software mostró proporcionar información detallada sobre la estructura de requerimientos en la empresa (*Volvo Car Group* o VVC por su siglas), destacando cómo se gestionan y documentan los requisitos en diferentes niveles jerárquicos, y cómo se lleva a cabo el proceso de descomposición de reque-

rimientos desde las funciones del vehículo hasta los requerimientos de software y hardware específicos.

En este artículo, se investiga cómo la velocidad y la complejidad crecientes del desarrollo afectan la ingeniería de requerimientos en la industria automovilística. Se encontró que los procesos y herramientas actuales ayudan a gestionar la complejidad y a desarrollar productos automotrices de la más alta calidad, pero no brindan un apoyo suficiente para lograr plazos más cortos y tiempos de comercialización más rápidos. En las entrevistas realizadas a los empleados, se descubrió que los ingenieros sortean los procesos rigurosos al confiar en la comunicación informal. Esto es crucial para lograr una comprensión compartida del contexto en el que cada interesado debe operar, y se necesita comunicación directa para entender e interpretar los requisitos y la lógica subyacente. Un desafío recurrente identificado a lo largo del proyecto es que los requerimientos son difíciles de especificar en un nivel de detalle adecuado. Existe un equilibrio entre la “sobreespecificación” (requisitos muy detallados que no concretan el propósito) y la “subespecificación” (requisitos muy poco detallados que no indican el propósito). Por un lado, los requerimientos de alto nivel son fácilmente subespecificados y no cubren todas las variantes importantes. Por otro lado, los procesos y herramientas actuales parecen forzar la sobreespecificación de requerimientos de nivel inferior. Otro hallazgo fue que, dado que diferentes funciones se dividen entre diferentes grupos en la organización de I+D, no se conoce todas las dependencias entre ellas al principio. Las dependencias solo se hacen claras después del diseño de la realización de la función o incluso después de que la implementación haya comenzado. Uno de los problemas clave identificados es que el ciclo de retroalimentación sobre los requerimientos es demasiado largo. Los entrevistados indicaron que se requiere más desarrollo interno y mejores entornos de simulación para abordar este desafío.

Así mismo, otro de los proyectos que han incorporado la metodología de ingeniería de requerimientos, pero a través de SysML, para la industria automotriz es el proyecto de Kristina Gruber, Jakob Huemer, et al. [9], empleados de BMW, quienes analizaron una propuesta

para abordar los desafíos de la ingeniería automotriz mediante la creación de “grupos de ingeniería específicos por dominio”. Estos grupos optimizan los métodos, procesos, principios de diseño y metodologías para la ingeniería interdisciplinaria. Una vista conjunta o un modelo integrado del sistema es necesario para el desarrollo general de automóviles de pasajeros, incluidos los aspectos de sistemas mecánicos y eléctricos/electrónicos. A través de SysML, se creó la arquitectura preliminar de los requerimientos ciberfísicos de un vehículo, y para realizar dicha arquitectura se partió del estado del concepto de ingeniería de requerimientos que comprende los requisitos funcionales y no funcionales. Los requisitos funcionales, tal y como su nombre lo indica, son “una función que un sistema debe poder realizar”, “lo que el producto debe hacer”, “lo que el sistema debería hacer”. Es decir, los requisitos funcionales describen los aspectos de comportamiento de un sistema; especifican las entradas (estímulos) al sistema, las salidas (respuestas) del sistema y las relaciones de comportamiento entre ellas. Por otro lado, un requisito no funcional especifica propiedades del sistema, como restricciones ambientales e de implementación, rendimiento, dependencias de plataforma, mantenibilidad, extensibilidad y confiabilidad. Puede ser un requisito que especifique restricciones físicas en un requisito funcional.

Para llevar a cabo la creación de la arquitectura, el diagrama de requisitos de SysML fue extendido con estereotipos adicionales de requisitos. Modelar y jerarquizar solo con el estereotipo de requisito no es suficiente porque solo están disponibles las propiedades “texto” dentro del esquema de desarrollo SysML, y estas son demasiado imprecisas para describir requerimientos funcionales y no funcionales para los dominios de mecánica y en el desarrollo general de automóviles de pasajeros. Por ello, fue necesario incorporar en su desarrollo de los esquemas de RE nuevos atributos y subclases que permitan jerarquizar los subsistemas en base a si son requerimientos funcionales o no y luego de allí desprender propiedades intrínsecas que varían de acuerdo con el tipo de requisito asignado. La clasificación de los requerimientos presenta varios beneficios significativos para la ingeniería de requerimientos y el análisis de un proyecto. En primer lugar, proporciona una organización clara y una estructura definida para los diversos tipos de necesidades del sistema, lo que facilita la comprensión y gestión

de los requisitos a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Esta clasificación también mejora la claridad y la comprensión de las necesidades del cliente y del sistema al categorizar los requerimientos en diferentes tipos (funcionales, no funcionales, de usuario, etc.). Asimismo, permite priorizar los requisitos en función de su importancia y criticidad para el éxito del proyecto, lo que ayuda al equipo a asignar recursos de manera efectiva y a centrarse en los aspectos más importantes del desarrollo.

A nivel práctico y poniendo en evidencia la manera en la que la ingeniería de requerimientos puede incorporarse a nivel de industria, se puede exponer un ejemplo aplicativo de las especificaciones de requerimientos para un software aplicados a eventos de post colisión. El trabajo de Aguilar y Fernández-y-Fernández [10] realiza una exploración a través de los requerimientos que pueden ser implementados en ambientes de colisión de uno o más vehículos. El artículo aborda la importancia de los sistemas de seguridad en el sector automotriz, centrándose en los sistemas relacionados con las colisiones. Se destacan tres tipos de sistemas: aquellos activados antes de una colisión para prevenir el impacto, los activados durante una colisión para minimizar el daño físico a los ocupantes, y los activados después de una colisión para minimizar el tiempo hasta la llegada de ayuda externa. Aunque los sistemas de tipo 1 y tipo 2 están ampliamente implementados, los sistemas de tipo 3 han recibido menos atención en la investigación; por ello, en el artículo se propuso una lógica conductual para un sistema de tipo 3, presentada a través de un documento de especificación de requerimientos de software (SRS).

Para llevar a cabo el análisis de requerimientos, se partió del primer proceso de la RE: la definición de requisitos de los *stakeholders*, quienes definen los requisitos del sistema de tal manera que tenga los servicios que el usuario necesita o los servicios que un interesado requiere en su contexto laboral. Además, en este proceso se realiza una identificación de los interesados, o grupo(s) de interesados. Asimismo, se analizan las necesidades, expectativas y deseos de los interesados y se transforman en un conjunto de requisitos para expresar la interacción que existirá entre el sistema y su entorno operativo. El segundo proceso, abar-

ca los requerimientos y limitaciones de la norma ISO/IEC/IEEE 15288 (requerimientos no funcionales) que se tuvo en cuenta para estructurar el comportamiento del sistema presentado en el artículo, cuyo propósito es transformar los servicios deseados o requeridos por los interesados en requisitos técnicos con los cuales el producto debe cumplir. Dentro de dicho proceso normativo se construyó una representación del sistema que debe cumplir con las expectativas de los interesados. La especificación de los requerimientos se llevó a cabo mediante una combinación de lenguaje natural (notación informal) y lenguajes de modelado (notación semi-formal). En esta propuesta, se utilizó el lenguaje de modelado SysML para la representación de los requisitos del sistema propuesto, se empleó una notación semi-formal para cumplir con las recomendaciones de la norma ISO 26262. Los resultados obtenidos en el artículo, pese a ser un abrebocas, indicaron que disponer de herramientas de ingeniería de sistemas y requerimientos facilita exponencialmente el análisis de casos de estudio, como en este caso lo fue el sistema de colisión y post-colisión de un vehículo.

La literatura existente sobre el tema sugiere de manera consistente que la implementación de la ingeniería de sistemas, especialmente en lo que respecta a la gestión de requerimientos, proporciona una serie de ventajas significativas para la industria automotriz. Al adoptar prácticas y procesos rigurosos para la captura, análisis y gestión de los requisitos de los proyectos, las organizaciones pueden estructurar de manera más eficiente sus metodologías de trabajo. Esto conduce a una mayor claridad en los objetivos del proyecto, una mejor comunicación entre los equipos y una gestión más efectiva de los riesgos y los cambios a lo largo del ciclo de vida del desarrollo del producto. En última instancia, esto se traduce en una mejora en la calidad del producto final, una reducción en los costos y tiempos de desarrollo, y una mayor satisfacción tanto para los fabricantes como para los usuarios finales de los vehículos.

VII. METODOLOGÍA

La metodología del proyecto se fundamenta en los procesos federativos O53 y O52 de Renault, los cuales esquematizan un organigrama de actividades y entregables que deben ser cumplidos con el propósito de establecer los cimientos y gestionar las diferentes metas que se alcanzarán a lo largo de un marco de tiempo definido. El O52 corresponde al diseño y validación de software integrado, se centra en la revisión de los diseños de control de sistemas, con un enfoque exclusivo en el desarrollo de software. Para llevar a cabo esta tarea, se emplean una serie de entregables conocidos como SCDR (*System Control Design Review*, en inglés), donde se elabora, valida y prueba el software que integra la arquitectura funcional. Estos entregables son fundamentales para garantizar el correcto funcionamiento y la implementación efectiva del programa en la arquitectura ciberfísica del vehículo. Para el caso de la metodología de Ampere (empresa subsidiaria de Renault especializada en el sistema eléctrico) se denomina ACR (*Ampere Change Request*) y para Horse (subsidiaria de Renault destinada al desarrollo de motores) se denomina HCR (*Horse Change Request*). El proceso O52 proporciona un marco estructurado para la revisión y mejora continua del diseño de control de sistemas, asegurando la calidad y la eficiencia en el desarrollo del software asociado. Por otro lado, O53 es un proceso de validación de sistemas alrededor del cual se sincroniza la ingeniería dentro del marco del Sistema de Diseño Renault; formaliza las actividades a realizar, los entregables a producir y los actores involucrados para un desarrollo efectivo y exitoso a nivel de ingeniería de sistemas; este proceso está delimitado a la validación de los sistemas de ingeniería y a la integración de estos. El objetivo del proceso es construir la viabilidad técnico-económica de vehículos y plataformas cumpliendo con los objetivos de rentabilidad y satisfacción del cliente, y permitiendo el desarrollo por parte de la marca. Este proceso se caracteriza por la presencia de entregables conocidos como *System Design Review* (SDR), que sirven como punto focal para gestionar la innovación y las nuevas funcionalidades (ver Fig 1). En este punto crucial del proceso, se incorporan los requisitos de los stakeholders y las necesidades del proyecto, teniendo en cuenta las limitaciones previamente establecidas. Dentro del proceso federativo O53, los entregables incluidos en el SDR son el *System Techni-*

cal Review (STR), el *System Design Document* (SDD) y el *System Validation Plan* (Val_sys).

A nivel técnico, el análisis y definición de requerimientos se apoya en herramientas de software empresarial que facilitan la gestión eficiente y precisa de los requerimientos evitando así entrar en conflicto o redundancias con limitaciones previamente establecidas. Entre estas herramientas se destaca DOORS, un software de uso interno empresarial que permite escribir y gestionar los requerimientos de manera estructurada, basándose en el esquema organizacional definido por la jerarquía de sistemas y subsistemas existentes de la compañía. DOORS facilita la documentación y seguimiento de los requisitos a lo largo del ciclo de vida del proyecto, asegurando la coherencia y trazabilidad de los mismos. Otra de las herramientas necesarias para la realización de la arquitectura de los sistemas corresponde a MATLAB Simulink. Simulink ofrece capacidades avanzadas de modelado y simulación, que en conjunto con las librerías de la compañía, permiten validar y verificar los requerimientos en un entorno virtual antes de su implementación en el mundo físico. Debido a las necesidades del proyecto, DOORS es la herramienta indispensable para la labor de ingeniería de requerimientos, mientras que Matlab y Simulink funcionan como herramientas complementarias. Esta integración entre la gestión de requerimientos a nivel empresarial y la simulación en un entorno ciberfísico garantiza una aproximación integral y efectiva en el desarrollo del sistema híbrido, optimizando la eficiencia y la calidad del producto final.

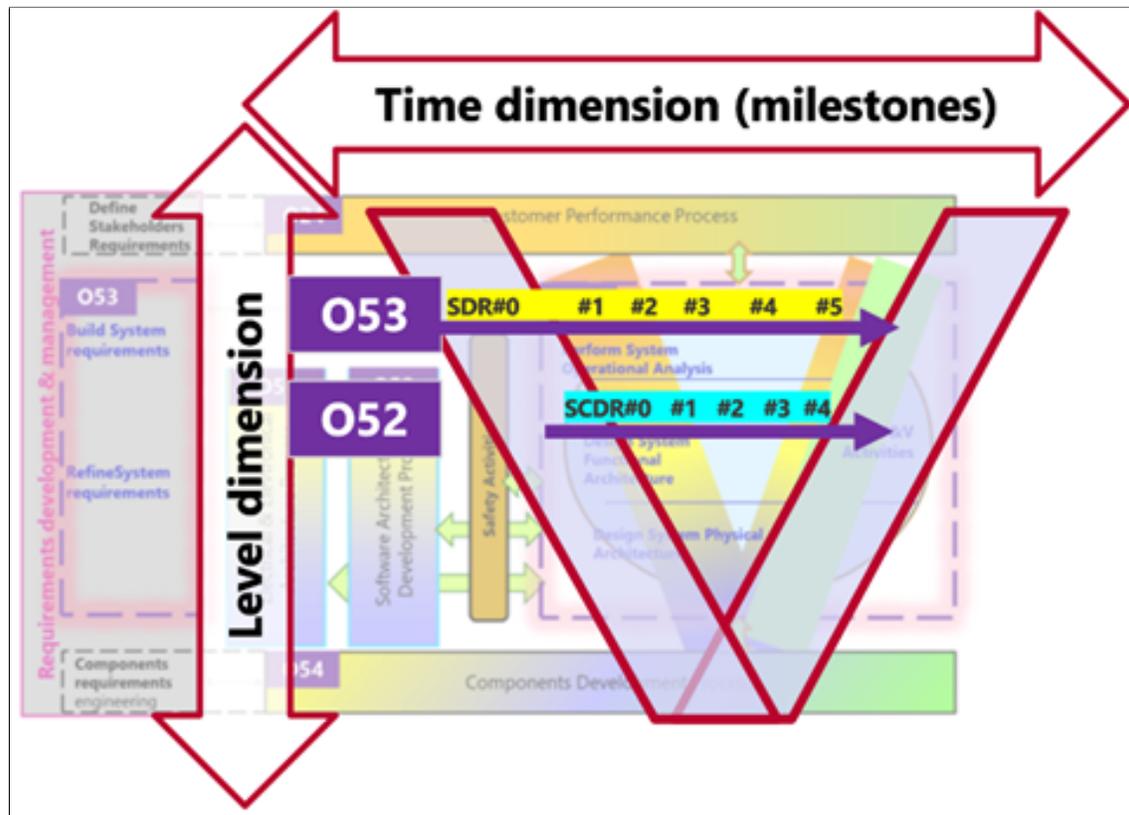


Fig. 1. Esquema de los procesos federativos de desarrollo de sistemas y sus etapas entregables [1]

Los entregables del proceso O52 se derivan de los procesos de ingeniería de sistemas del proceso O53, específicamente después de la etapa SDR1. Después de completar esta revisión, que es una parte integral del proceso O53, se identifican las necesidades y requerimientos del sistema de manera más detallada. Es en este punto donde se establecen las bases para el desarrollo del software en el proceso O52. A partir del SDR1, se desglosan las funcionalidades del sistema en requerimientos de software más específicos. Estos requerimientos se documentan y organizan en los entregables del proceso O52, conocidos como SCDR (*System Control Design Review*). Estos SCDR representan las particiones del sistema que se enfocan en el diseño, desarrollo y prueba del software que controlará y gestionará las funciones del sistema en cuestión (ver figura 2).

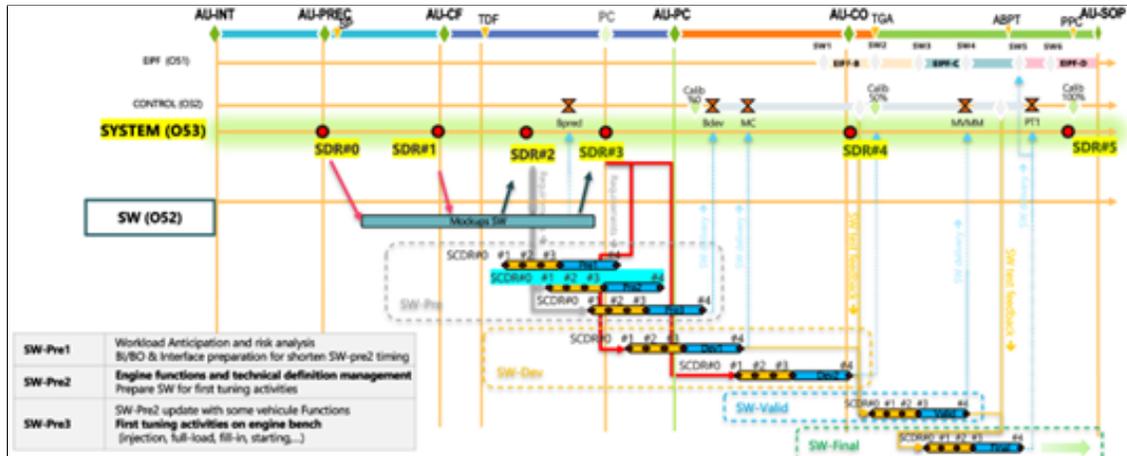


Fig. 2. Esquema de los entregables desprendibles del O52 a partir del SDR1 [1]

En los procesos de ingeniería de sistemas, especialmente en la fase de requerimientos (O53) se hace uso de DOORS para listar los requisitos en base a la organización de sistemas y subsistemas de Renault. De esta manera, los requerimientos documentados en los diferentes SDR se detallan en el software para facilitar la trazabilidad y gestión de los requerimientos de una manera más eficiente. Esencialmente, cada requerimiento debe estar sustentado y respaldado con su respectiva función en el software DOORS para cada uno de los sistemas (HM y PWT), y a su vez cada sistema debe incorporar una lista de requerimientos jerarquizada por subsistemas embebidos que en conjunto ayudan a desempeñar y a delimitar las funciones de los sistemas globales, y correlacionarse a través de variables comunes. Una vez que los requerimientos del sistema han sido establecidos y documentados, el proceso O52, enfocado en el diseño y validación de software, entra en juego. En esta etapa, se hace uso de Simulink para analizar el comportamiento simulado de la arquitectura diseñada en base a los requisitos en un ambiente predefinido, de forma que se modela y emulan sistemas dinámicos que permiten analizar el comportamiento entrelazado de dicha arquitectura. Esto conlleva a que, el análisis metodológico de los requerimientos parta desde un enfoque particular (requerimientos de subsistema), a lo general (sistema), es decir, siguiendo una estructura inductiva justificada por el carácter holístico de la RE. Una vez que se han definido, delimitado y conceptualizado los requerimientos, se organizan de forma documental a través de los SDR y son entregados como respaldo del esquema de trabajo a la empresa. En el presente proyecto se mostrarán

los desarrollos realizados a través del software DOORS.

A. Cronograma de actividades

El cronograma del proyecto se extiende desde principios del año 2024 hasta finales de 2028 (correspondiente al lanzamiento de modelo de vehículo), abarcando múltiples fases y etapas de desarrollo. Sin embargo, el trabajo efectivo del proyecto está programado hasta septiembre de 2024 debido a las limitaciones normativas del estatuto universitario para el semestre de industria. Esto significa que, en el organigrama de proyectos de Renault, solo se cubrirá la etapa inicial que incluye el preconcepto (PC) y el inicio del proyecto (SP) (véase la figura a continuación), también conocido como *Start of Project*, por sus siglas en inglés. Durante esta fase inicial del proyecto, que se desarrolla hasta julio de 2025, se llevan a cabo actividades cruciales para la organización y preparación del proyecto. Esto incluye la planificación detallada, la distribución del equipo de trabajo y el establecimiento de redes de comunicación con las diversas áreas y direcciones dentro de Renault. La etapa del preconcepto implica la elaboración de un plan estratégico y la definición de los objetivos y alcances del proyecto; se realiza un análisis preliminar de viabilidad y se establecen los requerimientos iniciales del proyecto. Además, se identifican los recursos necesarios y se asignan roles y responsabilidades dentro del equipo de trabajo. El SP marca el inicio oficial del proyecto y el lanzamiento de las actividades planificadas. Durante esta etapa, se establecen los hitos y las líneas de tiempo específicas, y se inicia la ejecución de las tareas asignadas. También se lleva a cabo una comunicación activa y colaborativa con las diferentes áreas y direcciones de Renault, asegurando una coordinación efectiva y un flujo de trabajo fluido.



Fig. 3. Cronograma de actividades del proyecto hasta el lanzamiento del vehículo.

Sin embargo, las etapas de PC y SP no están relegadas sólo a actividades jerárquicas

En la última etapa del proceso de ingeniería de requerimientos, para verificar que los requerimientos definidos y esquematizados son funcionales, se realiza la validación de la arquitectura modelada. Este proceso final se lleva a cabo para asegurar que la arquitectura del sistema cumpla con todos los requerimientos especificados y sea capaz de operar de manera eficiente y efectiva en condiciones simuladas reales. Esto implica una serie de pruebas y análisis exhaustivos para verificar su correcto funcionamiento y su capacidad para cumplir con los objetivos definidos. Este proceso incluye la emulación de escenarios de operación variados, la evaluación de la integridad de los datos y la interoperabilidad de los componentes. Una vez finalizada la etapa de validación de requisitos se establece cuales cumplen las limitaciones de las partes interesadas de manera más eficiente para consecuentemente ser incorporados en la etapa intermedia del proyecto.

B. Ampere Change Requests o ACRs

Debido al enfoque del proyecto (optimización de la energía), la sección de navegación electrónica, que hace parte del sistema THEO, es abarcada por la subsidiaria Ampere de Renault, lo que conlleva a que los entregables realizados tengan ligeras modificaciones para cumplir con su criterio de especificidad. Los cambios en la organización de proyecto no difieren de la metodología de Renault; las únicas modificaciones significativa radican en el cambio de nombre de los entregables, que en el caso de Ampere corresponde a ACR , y en el sistema de presentación de las propuestas, visto a través de una modificación de diseño en las presentaciones. Cada uno de las alteraciones y desarrollo de nuevas funciones dentro de Ampere deben estar justificados con fechas de entrega de software o MD Deliveries, donde se programa el lanzamiento de la actualización de las funciones.

En el sistema de organización de entregables de Ampere, el ACR#0 corresponde a una etapa clave en el proceso de desarrollo de nuevas funciones. En esta fase, se definen los requerimientos que se deben incorporar al sistema. Estos requerimientos se documentan y gestionan a través del software DOORS. En la presentación de este documento se lleva a cabo una reunión con los expertos en el tema, quienes revisan y discuten la viabilidad de los requerimientos

propuestos. En este punto, el equipo responsable del algoritmo analiza y evalúa los requisitos desde una perspectiva técnica, asegurándose de que son factibles de implementar. Este equipo proporciona su visto bueno como señal de que las especificaciones son viables, lo que da luz verde para que el proyecto avance a la siguiente etapa de desarrollo. Una vez concretado el ACR#0, se avanza al siguiente entregable, que tiene como objetivo principal presentar la implementación del algoritmo de la nueva funcionalidad utilizando Simulink y MATLAB, basándose en los requerimientos definidos y aprobados en el ACR#0. En esta etapa, el equipo de desarrollo transforma los requerimientos funcionales en una implementación concreta a nivel de software, utilizando estas herramientas para modelar y simular el comportamiento del algoritmo. Finalmente, en los entregables ACR#2 y 3 se procede a la etapa de validación de los requerimientos y del software. En el último nivel, se hace la implementación de las nuevas funciones o modificaciones del software en un vehículo de testeo para analizar si lo propuesto y definido a través de simulaciones del algoritmo sí aplica al nivel de operación real de un auto.

A nivel de requisitos funcionales y de enfoque operativo, la labor de un ingeniero de requerimientos está enfocada en el desarrollo y perfeccionamiento del ACR#0.

C. Presupuesto

Debido al carácter confidencial del proyecto, no se dispone de un presupuesto definido públicamente que pueda ser evaluado y caracterizado según el tipo de inversión. Sin embargo, se puede proporcionar información sobre las cifras esperadas de ganancia del proyecto, que se estiman en aproximadamente 227 millones de euros [11]. Estas cifras se derivan de una revisión superficial realizada al mercado y a los posibles usuarios del vehículo en cuestión. Es importante tener en cuenta que estas cifras son estimaciones y están sujetas a cambios a medida que avance el proyecto y se obtenga más información sobre el mercado y el público objetivo.

VIII. RESULTADOS OBTENIDOS

A lo largo de seis meses de trabajo en el semestre de industria, se han llevado a cabo importantes avances en el desarrollo y mejora del subsistema de navegación electrónica. Durante este periodo, se ha trabajado de manera constante en la implementación de modificaciones y actualizaciones clave que optimizan la eficiencia del sistema. Estas mejoras buscan alinear el rendimiento del eNav con las demandas actuales del mercado automotriz.

Además de las actualizaciones específicas al subsistema de navegación, se han desarrollado proyectos paralelos en el mercado de vehículos híbridos. Estos proyectos han abordado áreas críticas como la propuesta de nuevas funciones para la gestión híbrida de un vehículo con aplicaciones en Suramérica, especialmente en el área de Brasil y Colombia en condiciones desfavorables de topografía y terreno. Así mismo, se ha trabajado con la implementación de un nuevo modo de operación para un nuevo motor de Horse; este nuevo modo de operación se realiza a través de combustible de gas licuado de petróleo o LPG por sus siglas en inglés. Esto quiere decir que el vehículo híbrido no sólo funcionaría con el motor eléctrico y gasolina, sino también con combustibles más amigables como el medio ambiente como lo es el LPG, extendiendo aún más el rango de operación de los vehículos y potenciando la compatibilidad con la normativa ambiental que se adelanta en todo el mundo.

En esta sección, se presentarán los resultados obtenidos, detallando las modificaciones realizadas al eNav, los desafíos enfrentados durante el proceso de implementación y el impacto que estas actualizaciones tienen en el desempeño general del vehículo híbrido. Asimismo, se abordarán los avances en los proyectos paralelos, mostrando cómo estos han contribuido a cumplir con la justificación del proyecto.

A. Memorización del valor de la masa de un vehículo para la optimización de un trayecto para la función de towing.

Una de las nuevas funciones incorporadas en el subsistema eNav es la capacidad de almacenar en memoria el valor previamente calculado de la masa del vehículo cuando el peso

es mayor al definido por defecto de fábrica. Esta función permite que, al realizar el próximo encendido del coche, el sistema pueda leer el valor almacenado y utilizarlo para sus cálculos sin necesidad de realizar una nueva medición de inmediato. El objetivo de esta funcionalidad es optimizar el tiempo de respuesta del sistema, reduciendo la necesidad de repetir el cálculo de la masa en cada arranque y evitar la pérdida de potencia en situaciones donde el peso del vehículo excede la operación promedio de carga (véase la figura a continuación). Esta condición es conocida como *towing*. Un ejemplo de esta aplicación se da cuando ha habido cambios significativos en la carga del vehículo (como pasajeros adicionales o carga extra, tales como remolques) o en situaciones de ascenso en montañas donde la mala gestión del peso puede conllevar a casos de *derating* (falta o reducción de potencia del vehículo). El sistema continuará utilizando el valor almacenado hasta que se detecten condiciones que requieran un nuevo cálculo, lo que garantiza que la gestión energética y la optimización de rutas se basen en un dato preciso sin comprometer el rendimiento del vehículo.

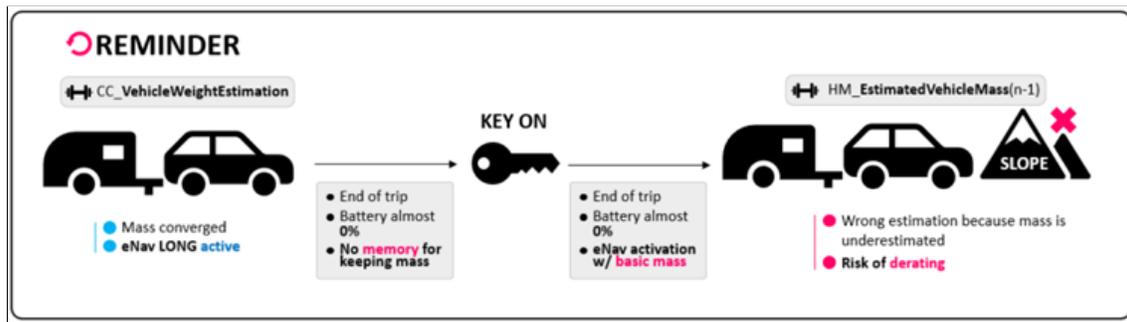


Fig. 5. Estado de operación de los vehículos sin la función de almacenamiento de masa incorporada (nótese el riesgo de *derating* en casos de ascenso con una masa mayor).

Esta mejora no solo reduce la carga computacional del subsistema eNav, sino que también contribuye a una experiencia más fluida para el usuario, evitando forzar el ICE, manteniendo así la precisión en la estimación del consumo energético y la eficiencia general de la batería. Tal y como se mencionó previamente, esta nueva función es fundamental en escenarios de altas pendientes, ya que la capacidad para memorizar el valor de la masa permite optimizar la operación energética mediante una estrategia predictiva basada en la topografía del terreno. Al detectar un tramo montañoso, el sistema eNav puede anticipar el

consumo adicional que requerirá el vehículo para operar en conjunto con el motor eléctrico y el motor ICE en paralelo, y de esta forma superar la pendiente y ajustar su comportamiento en consecuencia. Gracias a esta previsión, el sistema restringe de manera inteligente el consumo de la batería y el uso del motor eléctrico en las etapas previas al ascenso, esto con el objetivo de conservar energía. Simultáneamente, el eNav fuerza la recarga de la batería de manera anticipada, utilizando el motor de combustión interna, obligándolo a hacer una división de la potencia generada por el motor para asegurarse de que la batería esté suficientemente cargada cuando se llegue a la etapa de mayor demanda energética. Es decir, parte de la potencia del ICE irá destinada para generar potencia a las ruedas, mientras que otra fracción de la energía cinética del motor estará destinada para recargar mediante un alternador y luego un circuito de rectificado, la batería del vehículo. Una vez que el vehículo alcanza el tramo de ascenso, el sistema aprovecha tanto el motor eléctrico como el motor de combustión interna, operando en paralelo para generar la potencia adicional necesaria para las ruedas. Esto evita sobrecargar el motor de combustión interna, que de otro modo tendría que trabajar a su máximo rendimiento en solitario. Al combinar ambos motores, se logra una distribución más eficiente de la potencia, lo que no solo mejora el rendimiento del vehículo en altas pendientes, sino que también optimiza el consumo energético y prolonga la vida útil de los componentes. Esta gestión eficiente contribuye a una experiencia de conducción más suave, minimiza el riesgo de derating y mejora significativamente la eficiencia del vehículo en terrenos difíciles (véase la figura 6). Otro caso importante es el de vehículos que remolcan cargas adicionales, ya que, al conectar un remolque al automóvil, el peso total del vehículo aumenta significativamente. En combinación con situaciones de ascenso en montaña, esto impone una demanda mucho mayor al motor de combustión interna, que se ve forzado a trabajar más intensamente para superar tanto la pendiente como el peso extra del remolque.

En estos escenarios, la función de memorización del valor de la masa del vehículo se vuelve crítica. Al almacenar este dato y combinarlo con la función predictiva, el vehículo puede utilizar eficientemente la energía disponible. El sistema anticipa el ascenso y ajusta su estrategia energética en consecuencia siguiendo la misma secuencia de predicción.

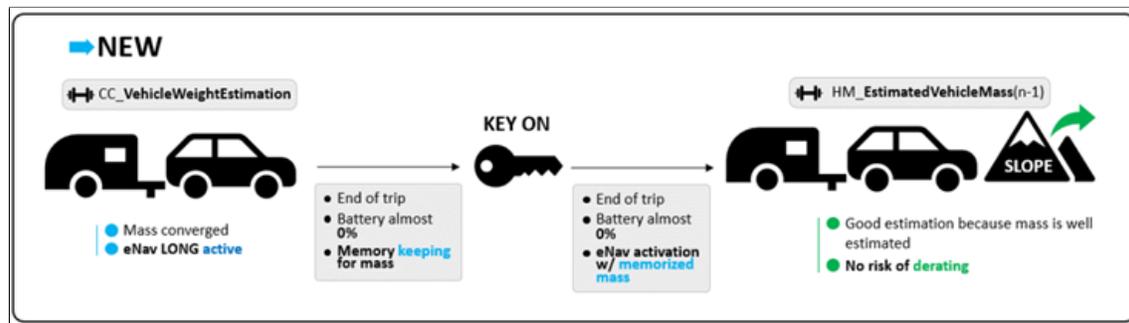


Fig. 6. Estado de operación de los vehículos una vez implementada la función de la memorización de la masa.

Ahora bien, desde el enfoque de la ingeniería de requerimientos, la incorporación de la función de cálculo y memorización de la masa del vehículo implicó la modificación de varios requerimientos ya existentes dentro del subsistema de THEO. Para asegurar una integración adecuada de esta nueva funcionalidad, se llevó a cabo un análisis detallado en la base de datos de DOORS. Esta revisión fue fundamental para identificar las funciones actuales que presentaban compatibilidad con la nueva necesidad. Tras revisar la base de datos, se determinó que el requerimiento más similar y relevante era el número 447 (REQ_SYS_THEO_Design_447), que ya abarcaba funciones relacionadas con el cálculo de parámetros de operación del vehículo, tal y como se ve en la figura a continuación. Al ser el requerimiento más cercano en funcionalidad, se creó una copia exacta de este requerimiento en modo borrador o *draft* (REQ_SYS_THEO_Design_503), para modificarlo sin alterar la versión original que seguiría siendo utilizada hasta que la nueva versión fuera aprobada en el ACR#3 y cambiara de estado *draft* a *frozen* (requerimiento vigente). Así mismo, para la función de *climbing* (ascenso en montaña) se debió modificar el requerimiento número 500 (REQ_SYS_THEO_Design_500), para tener en cuenta el cálculo del *offset* energético teniendo en cuenta la condición de ascenso.

REQ_SYS_TH EO_Design_ 447	Estimated Vehicle Mass consolidation for Enavigation	<p>The HM-THEO system shall consolidate the Estimated Vehicle Mass provided by Chassis Control system to use it in predicted wheel power profile calculation.</p> <p>At first, as long as the value [CC_VehicleWeightEstimationStatus] is different from converged, the HM-THEO system shall keep tuning value for Estimated Vehicle mass.</p> <p>Then, the HM-THEO system shall realize interpolation depending on [CC_VehicleWeightEstimation].</p> <p>In case of Climbing Event detection, the HM-THEO system shall add offset to the normal consolidation.</p> <p>In case of Towing Strategy activated, the HM-THEO system shall add offset to the normal consolidation.</p> <pre> if [CC_VehicleWeightEstimationStatus] <> "Converged" HM_EstimatedVehicleMass = VEHICLEMASS Else HM_EstimatedVehicleMass = Interp(CC_VehicleWeightEstimation) If [HM_VehicleHighWeightStatus] is "Activated" HM_EstimatedVehicleMass = HM_EstimatedVehicleMass + HM_ENavigationTowingMassOffset With HM_ENavigationTowingMassOffset = Interp(CC_VehicleWeightEstimation) If [HM_ENavigationClimbingPhaseDetection] = "Detection" HM_EstimatedVehicleMass = HM_EstimatedVehicleMass + HM_ENavigationClimbingMassOffset With HM_ENavigationClimbingMassOffset = Interp(CC_VehicleWeightEstimation) </pre> <p>NB: When the gap between current Mass and estimated Mass is judged large enough, the Algorithm shall manage a new trigger computation of ENavigation Estimations.</p> <p>With:</p> <p>CC_VehicleWeightEstimation in [kg], Vehicle Mass Estimation.</p> <p>CC_VehicleWeightEstimationStatus, flag meaning that the maturity of the computation allows to take into account that final vehicle mass estimation.</p> <p>VEHICLEMASS, Tuning value in [kg] corresponding to Vehicle Mass.</p> <p>HM_ENavigationTowingMassOffset, Tuning Value in [kg] corresponding to the Mass Offset in case of Towing Strategy activation.</p> <p>HM_ENavigationClimbingMassOffset, Tuning Value in [kg] corresponding to the Mass Offset in case of Climbing Strategy activation.</p> <p>HM_EstimatedVehicleMass in [kg], Consolidated Vehicle Mass for Enavigation Strategy.</p>
REQ_SYS_TH EO_Design_ 503	Estimated Vehicle Mass consolidation for Enavigation	<p>The HM-THEO system shall consolidate the Estimated Vehicle Mass provided by Chassis Control system to use it in predicted wheel power profile calculation.</p> <p>At first, as long as the value [CC_VehicleWeightEstimationStatus] is different from converged, the HM-THEO system shall keep the previously memorized value for the Estimated Vehicle mass in case it is valid [HM_EstimatedVehicleMass(n-1)] or a tuning value [VEHICLEMASS].</p> <p>Then, the HM-THEO system shall realize interpolation depending on [CC_VehicleWeightEstimation].</p> <p>In case of Climbing Event detection, the HM-THEO system shall add offset to the normal consolidation.</p> <p>In case of Towing Strategy activated, the HM-THEO system shall add offset to the normal consolidation.</p> <pre> if [CC_VehicleWeightEstimationStatus] <> "Converged" If [HM_EstimatedVehicleMass(n-1)] is not memorized HM_EstimatedVehicleMass = VEHICLEMASS Else HM_EstimatedVehicleMass = HM_EstimatedVehicleMass(n-1) Else HM_EstimatedVehicleMass = Interp(CC_VehicleWeightEstimation) If [HM_VehicleHighWeightStatus] is "Activated" HM_EstimatedVehicleMass = HM_EstimatedVehicleMass + HM_ENavigationTowingMassOffset With HM_ENavigationTowingMassOffset = Interp(CC_VehicleWeightEstimation) If [HM_ENavigationClimbingPhaseDetection] = "Detection" HM_EstimatedVehicleMass = HM_EstimatedVehicleMass + HM_ENavigationClimbingMassOffset With HM_ENavigationClimbingMassOffset = Interp(CC_VehicleWeightEstimation) </pre> <p>Remark: If this previous value [HM_EstimatedVehicleMass(n-1)] is empty (new vehicle, memory reset) or is not compliant (valid value for eNav strategy), the estimated vehicle mass [HM_EstimatedVehicleMass] shall be equal to default calibrated Vehicle Mass (VEHICLEMASS). Else, it shall be equal to the last valid Mass Vehicle storage [HM_EstimatedVehicleMass(n-1)].</p> <p>Remark: the vehicle mass is set to default calibrated Vehicle Mass (VEHICLEMASS) until a new validated weight estimation is done [CC_VehicleWeightEstimation].</p> <p>Remark: When the gap between current Mass and estimated Mass is judged large enough, the Algorithm shall manage a new trigger computation of ENavigation Estimations.</p> <p>With:</p> <p>CC_VehicleWeightEstimation in [kg], Vehicle Mass Estimation.</p> <p>CC_VehicleWeightEstimationStatus, flag meaning that the maturity of the computation allows to take into account that final vehicle mass estimation.</p> <p>VEHICLEMASS, Tuning value in [kg] corresponding to Vehicle Mass.</p> <p>HM_ENavigationTowingMassOffset, Tuning Value in [kg] corresponding to the Mass Offset in case of Towing Strategy activation.</p> <p>HM_ENavigationClimbingMassOffset, Tuning Value in [kg] corresponding to the Mass Offset in case of Climbing Strategy activation.</p> <p>HM_EstimatedVehicleMass in [kg], Consolidated Vehicle Mass for Enavigation Strategy.</p> <p>HM_EstimatedVehicleMass(n-1) in [kg], Consolidated Vehicle Mass for Enavigation Strategy in the previous driving cycle.</p>

Fig. 7. Actualización del requerimiento 500 en DOORS para la memorización de la masa.

El siguiente paso fue ajustar este nuevo requerimiento para incorporar el cálculo y la memorización de la masa del vehículo. En la representación del requerimiento en un pseudo lenguaje de programación, se añadió una nueva sección que implementa la memorización de la masa del vehículo, la cual es guardada en la unidad de control del sistema eNav. Esta modificación garantiza que el valor de la masa se conserve para su uso en el siguiente encendido del vehículo, y que el sistema lo emplee hasta que se requiera un nuevo cálculo. De esta forma se logró adaptar la función existente a las nuevas necesidades sin comprometer las otras operaciones del subsistema, manteniendo la coherencia y compatibilidad con el resto de los procesos del sistema híbrido.

Finalmente, en las simulaciones realizadas para el ACR#2 por el equipo de validación, una vez que el algoritmo de la propuesta fue aceptado, se pudo demostrar que el sistema gestionaba adecuadamente el valor de la masa del vehículo. Cuando el sistema detectaba una masa superior al valor estándar calibrable (por defecto de fábrica), la unidad de control del coche almacenaba este nuevo valor en su memoria, tal como estaba previsto en el diseño del algoritmo. Este valor permanecía memorizado hasta que se realizaba un nuevo cálculo más preciso en función de las condiciones operativas del vehículo. El comportamiento del sistema fue verificado a través de la variable de la masa estimada del vehículo, denominada 'Vxx_est_mass_veh_1s', que registraba el valor de la masa detectada y mostraba cómo este valor se mantenía constante en la memoria del vehículo hasta que se realizaba un recálculo más preciso en base a nuevos datos. Esta simulación permitió confirmar que la función de memorización del valor de la masa operaba correctamente, asegurando que el sistema de navegación electrónica optimizaría el uso de la energía, especialmente en escenarios donde la masa del vehículo influía directamente en su rendimiento, como en ascensos o situaciones de remolque.

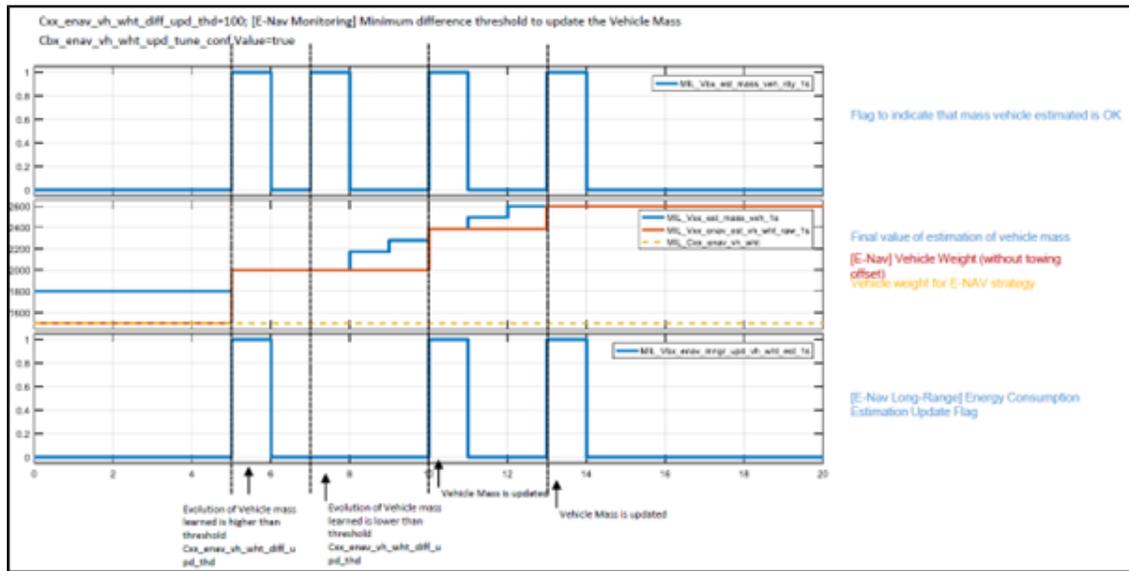


Fig. 8. Simulación realizada para la validación del requerimiento 503.

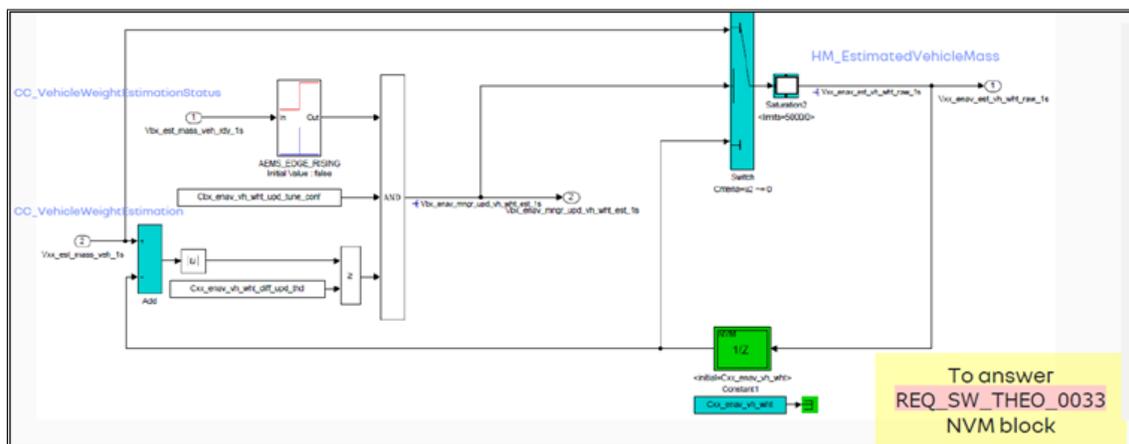


Fig. 9. Representación en Simulink del algoritmo realizada por el equipo de software y algoritmo.

El resultado obtenido en las simulaciones demuestra que se almacenó correctamente el valor de la masa detectada y se mantuvo en la unidad de control hasta que se generó un nuevo cálculo. Cabe recalcar que la implementación de este nuevo requerimiento es directamente congruente con los objetivos específicos de la práctica, especialmente con la optimización del sistema de gestión de navegación electrónica del vehículo para mejorar el consumo energético, favoreciendo de esta forma el cumplimiento de las nuevas legislaciones en favor de alternativas energéticas más amigables con el medio ambiente.

B. Optimización de la gestión energética en la batería del sistema eNav

Una nueva función desarrollada para la optimización energética de la batería corresponde a la de la optimización de la gestión energética para el subsistema de navegación electrónica. Esta función nace de un problema reportado en las misiones de ensayo de vehículos en donde se pudieron percatar de una sobrecarga en el ICE cuando se definían rutas largas en el subsistema eNav. El problema esencial radica en que el estado de carga máximo ($V_{xx_hvb_soc_max}$) que puede ser utilizado por el sistema de navegación electrónica es del 99.47%. Este problema se vuelve especialmente crítico en la planificación de viajes largos, donde el vehículo, para contar con el apoyo constante del motor eléctrico y optimizar la energía durante todo el trayecto (y también reduciendo las emisiones del motor de combustión), intenta mantener el valor de carga lo más cercano posible a ese límite máximo de SOC de 99.47% (figura 10). El desafío es que, para conservar la carga en ese nivel, el sistema fuerza al motor de combustión interna a operar continuamente para recargar la batería en paralelo con la operación normal de la marcha del coche. Este proceso provoca una doble demanda: mientras el motor de combustión trabaja para recargar la batería, también debe generar suficiente potencia para producir torque a las ruedas. Esta operación constante del motor de combustión incrementa el consumo de combustible y reduce la eficiencia energética general del vehículo, contraviniendo el objetivo de maximizar el uso del motor eléctrico en trayectos largos.

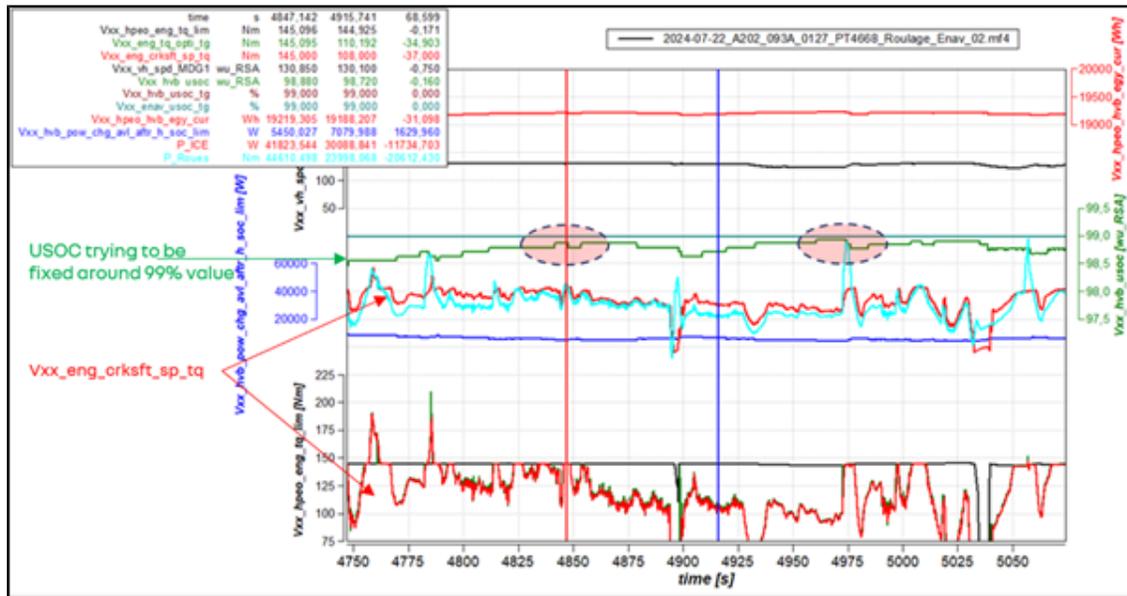


Fig. 10. Se observa como el valor de USOC trata de estar lo más cercano a 99 %, impactando directamente al rendimiento del ICE como lo indica la variable $Vxx_eng_crksft_sp_tq$.

El nuevo requerimiento (REQ_SYS_THEO_Design_506) se diseñó para abordar este desequilibrio, permitiendo una gestión más inteligente de la carga de la batería. La solución implementada para abordar este problema fue la creación de una nueva variable de calibración que actúa como límite máximo o threshold del SOC de la batería. Esta variable se estableció con un valor inferior al límite máximo, pero no con un valor preciso ya que depende del equipo de calibración definir la magnitud de esta variable. En los requerimientos se recomendó definir un valor máximo de recarga del 95 %. Al introducir este límite superior, se impide que el motor de combustión se vea obligado a operar de forma ineficiente solo para mantener la batería a un tope de singularidad máximo, lo cual reduce la dependencia del motor de combustión para producir la recarga. Con esta nueva calibración, el sistema de navegación electrónica puede gestionar mejor los niveles de carga, manteniendo un equilibrio adecuado entre la potencia disponible en la batería y la energía requerida para los trayectos largos. El requerimiento está diseñado de tal forma que, una vez alcanzado el valor definido por el threshold de carga de la batería, el sistema automáticamente suspende la recarga del acumulador. Esta suspensión continúa hasta que el sistema considere que la recarga es estrictamente necesaria para la

optimización energética o en respuesta a la anticipación de una situación que requiera el uso constante del motor eléctrico.

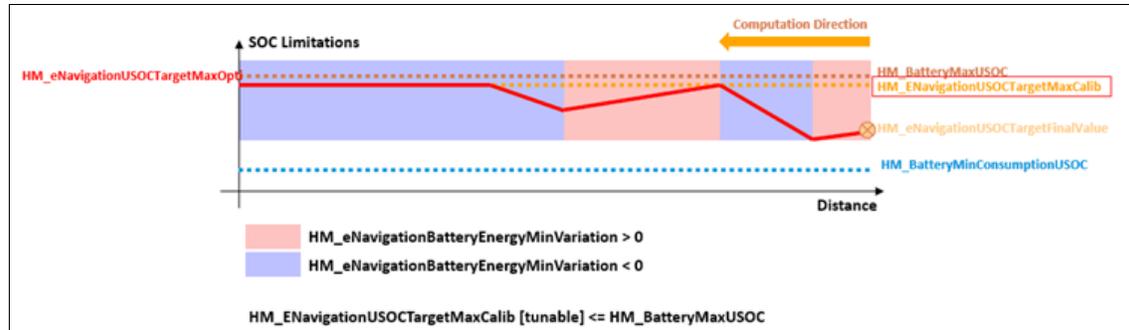


Fig. 11. Representación de la limitación creada a partir de una variable de calibración ($HM_eNavigationUSOCTargetMaxCalib$) para poder mantener dentro de un intervalo aceptable al valor del estado de carga una vez definida una ruta ($HM_eNavigationUSOCTargetMaxOpti$).

Debido a las limitaciones de tiempo del presente proyecto, aún se está a la espera de las validaciones del sistema en un coche de ensayo para verificar la solución a este inconveniente que impacta directamente al rendimiento energético. Las validaciones preliminares realizadas en un *mockup* digital apuntan a que la solución es compatible con el resultado deseado, es decir, optimizando la gestión de la batería, especialmente en la situación problema que corresponde a los trayectos extensos.

C. Justificación de la operación nominal del eNav a los stakeholders

Una de las funciones clave de un ingeniero de requerimientos es resolver incógnitas y problemas que surgen durante los ensayos o misiones de prueba de vehículos, garantizando que el sistema se ajuste a los objetivos de diseño y cumpla con los requerimientos establecidos. Un ejemplo de esto ocurrió en el mes de junio, cuando surgieron varias dudas relacionadas con el funcionamiento nominal del subsistema de navegación electrónica por parte del equipo de misión de testeo que fue a ensayar los vehículos en Granada, España y quienes habían recibido *feedback* por parte del equipo que analiza la experiencia de usuario.

A continuación, se presenta a manera ilustrativa una discusión resumida a los problemas

mencionados en la operación y funcionamiento del subsistema, lo cual corresponde a una jornada de trabajo común como ingeniero de requerimientos. En esta discusión se abordaron varios puntos clave relacionados con el comportamiento del subsistema en distintas condiciones de conducción:

1. eNav MID o SOC Highway funcionan de manera esporádica en la autopista:

En caso de pérdida de señal GPS, eNav no se activa, lo que permite que el sistema USOC Highway (sistema del eNav que funciona en las autopistas para optimizar consumo) tome el control del estado de carga. Cuando la señal GPS se restablece, SOC Highway se activa de nuevo, creando un ciclo de activación/desactivación. Este comportamiento ya fue identificado y se presentó un ACR para corregir esta conducta y mantener el mismo SOC tanto en eNav como en USOC Highway (ACR100338 como referencia de documento interno). Se realizó un prototipo (*mockup*) por parte del equipo de algoritmo para implementar la solución.

2. El objetivo cambia demasiado rápido dentro de una rotonda: El cálculo de la ruta de eNav MID (versión ligera de eNav para vehículos MHEV) se basa en el MPP (*Most Probable Path*), es decir, en una predicción del trayecto en base a la ruta más probable, y si el conductor no sigue el camino calculado, se realiza otro cálculo de trayecto, lo cual es un comportamiento nominal de operación. Además, si el conductor no sigue el MPP cinco veces consecutivas (valor calibrable), eNav MID se detendrá.

3. Carga completa del motor de combustión interna con NVH inaceptable:

Durante la optimización energética, el sistema recarga la batería y el ICE ayuda a generar más torque. El ruido es considerado normal debido a que el ICE está produciendo torque adicional para el vehículo en ese momento.

4. El objetivo de SOC queda atascado en 99% (previo a la corrección de SOC máximo) al inicio del viaje, y tras la pausa, baja al 8.8%: El valor atascado en 99% se justifica debido a que la función de eNav intenta conservar energía para momentos posteriores durante el trayecto. El valor del 8.8% corresponde al USOC

Target sin eNav activado, lo cual es comportamiento normal. La filosofía de eNav es usar la energía en el momento adecuado, no necesariamente al comienzo del viaje, ya que está diseñada para optimizar el consumo a lo largo del trayecto. Si, basado en el *feedback* del cliente, se solicita un cambio, podría planearse una evolución de esta función por parte del equipo de ingeniería de requerimientos.

Esta discusión permitió confirmar a los *stakeholders* que el subsistema de navegación estaba funcionando conforme a los parámetros de diseño y que no era necesaria una modificación en el requerimiento funcional. El papel del ingeniero de requerimientos en este caso fue crucial para identificar la raíz del posible problema, analizar la situación de manera estructurada y evitar cambios innecesarios que podrían haber afectado otras áreas del subsistema. Este enfoque ayuda a mantener la coherencia entre los objetivos del sistema y su implementación real durante las fases de prueba, lo cual es también una función inherente a la ingeniería de requerimientos.

D. Creación de un botón para el cambio de combustible a LPG desde la perspectiva de la gestión de hibridación

Como parte del trabajo en la gestión híbrida, se lideró el desarrollo de una función (NF100013) que permitiera cambiar entre tres modos de operación en un motor multipropósito: gasolina, eléctrico y LPG (Gas Licuado de Petróleo). Este proyecto forma parte de una iniciativa destinada a crear un vehículo de rango extendido, capaz de utilizar no solo combustible convencional, sino también LPG, una opción más respetuosa con el medio ambiente que contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, es por ello por lo que está directamente relacionado con la gestión híbrida, debido a su potencial para optimizar el consumo de energía, alineándose con los objetivos clave de los sistemas híbridos. Al integrar el LPG como una opción adicional, el sistema de gestión híbrida puede seleccionar (en base al *input* del usuario) el modo más eficiente según la situación, permitiendo que el motor de combustión interna funcione con LPG en lugar de gasolina cuando sea más ventajoso, como en recorridos urbanos o de baja demanda. Esto aliviará la carga sobre el

motor eléctrico y mejorará el balance energético del sistema en general.

En las labores de ingeniería, se diseñó la arquitectura del sistema (figura 11) y se garantizó su integración con otros subsistemas clave. En primer lugar, se coordinó la conexión con el sistema de planta motriz (PTM) para que las señales relacionadas con la transmisión y los cambios se enviaran correctamente, permitiendo que el vehículo reconociera y ajustara el tipo de combustible en uso. También se integró el sistema de entretenimiento a bordo, desarrollando una interfaz que permitiera al conductor visualizar en el display del vehículo el estado actual del combustible (LPG, gasolina, eléctrico o la combinación entre LPG – eléctrico o gasolina - eléctrico) y el modo de operación activo de manera clara y precisa. Además, se establecieron los vínculos con el sistema de control de combustión, asegurando que el cambio de combustible se realizara de manera segura dentro del motor de combustión interna. Este proceso fue diseñado para ser eficiente y compatible tanto con gasolina como con LPG.

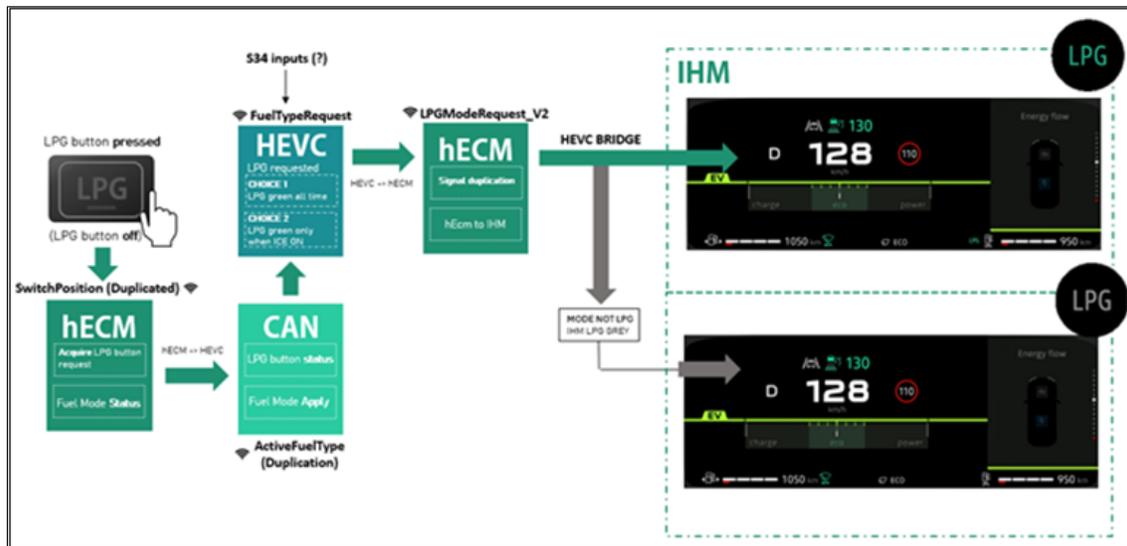


Fig. 12. Diagrama de arquitectura funcional entre las diferentes unidades de control electrónica (ECU) del vehículo hasta llevar la señal al display.

El trabajo se centró en la transmisión de la señal que se generaba desde el momento en que el conductor presionaba el botón de cambio de combustible hasta que el motor ejecutaba el cambio. Esto implicó una coordinación estrecha con las diversas ECU del vehículo,

estableciendo relaciones de señal precisas y asegurando una comunicación fluida entre los sistemas. El objetivo era que la transición entre combustibles ocurriera de manera suave, sin comprometer el rendimiento del vehículo.

La transición al modo LPG no se reflejará en el display del vehículo hasta que el sistema haya verificado que el primer torque efectivo ha sido aplicado dentro del motor utilizando este combustible. Es decir, cuando el proceso de inyección se realice efectivamente con LPG y la transmisión de potencia hacia las ruedas esté funcionando bajo este combustible, se activará la indicación visual (vista como un testigo luminoso). Una vez que se cumpla esta condición, el estado de funcionamiento en modo LPG se mostrará en la pantalla del sistema de entretenimiento a bordo con un color verde azulado, tal como se observó en la figura previa, indicando que el vehículo está operando en dicho modo. Si el cambio no ha ocurrido aún o si el motor sigue utilizando gasolina o el sistema eléctrico, el estado de LPG no se mostrará en la pantalla. Este sistema asegura que la información proporcionada al conductor sea precisa y esté sincronizada con el comportamiento real del motor y la transmisión, evitando confusiones durante la transición entre los diferentes modos de combustible. Cabe mencionar que, aunque el usuario haya presionado el botón para cambiar al modo LPG, si el sistema de gestión híbrida, en conjunto con el sistema de combustión y la planta motriz, determina que no es adecuado utilizar este combustible en ese momento, el cambio de modo quedará en estado de espera ("*standby*"). En este caso, el sistema no activará inmediatamente el modo LPG, y el vehículo continuará operando con gasolina o electricidad según lo más eficiente en ese momento.

Así mismo, durante los ciclos de utilización del EM en el modo LPG, el botón de selección de combustible permanecerá iluminado incluso cuando el vehículo esté operando temporalmente solo con el motor eléctrico. Esto se debe a que los ciclos de encendido y apagado del motor eléctrico en este modo son de corta duración. Una vez que el motor eléctrico completa su ciclo, el sistema automáticamente vuelve a operar con el motor de combustión interna, utilizando nuevamente el gas licuado de petróleo como combustible. Se decide mantener la

iluminación constante del botón ya que esta asegura que el conductor esté al tanto de que el vehículo está en modo LPG, incluso cuando el motor eléctrico está activo de forma momentánea, de lo contrario, debido a los cortos intervalos, esto podría generar una distracción involuntaria al conductor. De esta manera, el sistema garantiza una transición fluida entre los modos de operación eléctrica y de combustión interna, sin que el estado del combustible se vea interrumpido ni el indicador visual en el botón cambie, ya que la operación con LPG sigue siendo el modo prioritario en estos ciclos.

Tal y como se mencionó previamente, para lograr una transición homogénea entre los diferentes tipos de combustible en el motor, es crucial mantener la sinergia entre los diversos sistemas que conforman el vehículo, en particular el HM, PTM e IHM. Estos sistemas deben trabajar de manera coordinada para garantizar que el cambio entre los modos de combustible se realice sin interrupciones en el rendimiento del vehículo. Durante el desarrollo de esta función, se incorporaron cuatro señales clave para gestionar esta transición: `SwitchPosition`, `ActiveFuelType`, `LPGModeRequest_V2` y `FuelTypeRequest` (tabla 1). De estas señales, `FuelTypeRequest` fue la única señal nueva, ya que las otras tres se habían utilizado previamente en otro motor que solo tenía la capacidad de cambiar entre gasolina y LPG, es decir, un vehículo exclusivo de combustión. Sin embargo, esto planteó un desafío, ya que las señales originales estaban diseñadas para un motor no híbrido, lo que significaba que las ECU utilizadas en ese sistema no eran compatibles con las de un vehículo híbrido. Dado a las diferencias en las unidades de control, particularmente el HEVC y el hECM, fue necesario duplicar y adaptar estas señales a los nuevos sistemas. Esta duplicación y adaptación aseguraron que las señales de transición entre los modos de combustible funcionaran correctamente dentro del contexto, permitiendo que el sistema pudiera gestionar eficazmente la transición.

TABLA I
Listado de señales, sus estados y sus enlaces entre ECUs.

Nombre de señal	Estados	Enlace
SwitchPosition	<i>LPG Button On</i>	Botón a hECM
	<i>LPG Button Off</i>	
	<i>Gasoline Only</i>	
ActiveFuelType	<i>LPG Only</i>	hECM a HEVC via PT CAN
	<i>Dual Fuel Only</i>	
	<i>Gasoline to LPG</i>	
FuelTypeRequest	<i>LPG</i>	HEVC a hECM
	<i>Gasoline</i>	
	<i>No Display</i>	
	<i>LPG Off</i>	
LPGModeRequest_V2	<i>LPG in waiting</i>	hECM a IHM via HEVC bridge
	<i>LPG active</i>	
	<i>LPG in failure</i>	

El siguiente paso, tras haber validado la arquitectura desde la perspectiva funcional, consiste en la elaboración de los requerimientos. Este proceso debe considerar cuidadosamente las restricciones, los enlaces y las necesidades funcionales del botón de cambio de combustible, asegurando que se integren de manera coherente dentro del sistema híbrido del vehículo. Al desarrollar estos requerimientos, es esencial que se alineen con las capacidades técnicas y operacionales del coche, respetando las limitaciones impuestas por los tres sistemas esenciales descritos anteriormente. Este enfoque cumple con el primer objetivo propuesto para la práctica: Identificar los requerimientos funcionales y operativos definidos por los *stakeholders*, asegurando que todas las decisiones tomadas sean viables y estén alineadas con las expectativas de los interesados ya que la identificación y desarrollo de estos requerimientos

permitirá avanzar en la implementación del botón de cambio de combustible, garantizando que el sistema funcione de manera eficaz y cumpla con los objetivos de eficiencia energética y sostenibilidad del proyecto.

IX. CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo de la práctica se ha logrado cumplir de manera satisfactoria los objetivos planteados, abordando de manera integral la ingeniería de requerimientos para el sistema de navegación electrónica de los vehículos híbridos e-Tech. Desde el inicio, uno de los ejes principales del trabajo consistió en identificar con precisión los requerimientos funcionales y operativos del sistema, partiendo de las necesidades expresadas por los diferentes *stakeholders*, como los fabricantes, los usuarios y los reguladores del sector. Este análisis permitió definir la viabilidad de las propuestas y, en función de ello, estructurar un diseño que no solo satisficiera los criterios técnicos, sino que también fuera capaz de ser implementado dentro de los límites tecnológicos del vehículo. El enfoque en las expectativas de los diferentes actores fue clave para garantizar que las soluciones propuestas respondieran de manera óptima a los desafíos planteados por la industria automotriz en la actualidad.

En cuanto a la optimización del sistema de gestión de navegación, uno de los logros más destacados fue la mejora en el consumo energético del vehículo. Esta mejora no solo impacta directamente en la eficiencia operativa del coche, sino que también se alinea con las normativas actuales que promueven alternativas energéticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. En un contexto donde la transición hacia una movilidad más limpia se ha convertido en una prioridad, optimizar el uso de los recursos energéticos del vehículo, como la batería y el motor eléctrico, ha permitido avanzar significativamente hacia el cumplimiento de las legislaciones vigentes. La implementación de nuevas funciones, como la gestión avanzada del estado de carga y la incorporación de límites de *threshold* para evitar un uso ineficiente del motor de combustión interna, ha demostrado ser una estrategia exitosa para maximizar el rendimiento energético del sistema de navegación electrónica.

Otro aspecto clave fue la definición de nuevos requerimientos operativos y funcionales para el software de navegación eNav. Durante el proceso, se identificaron áreas de mejora y oportunidades para desarrollar funciones que mejoraran la capacidad del sistema para adaptarse

a diferentes escenarios de conducción, como los viajes prolongados o situaciones de mayor demanda de torque, como los ascensos en montaña. Estas nuevas funcionalidades no solo contribuyeron a optimizar la gestión del sistema, sino que también reflejaron una evolución necesaria para enfrentar los retos de la conducción híbrida, donde la interacción entre el motor de combustión y el motor eléctrico debe estar finamente ajustada. La incorporación de funciones avanzadas como el almacenamiento de la masa del vehículo para la predicción de consumo energético en terrenos con inclinaciones y la mejora en la planificación de recargas anticipadas de la batería contribuyeron a hacer más eficiente la navegación en condiciones diversas.

Adicionalmente, la labor en la resolución de problemas y la colaboración interdisciplinaria fue esencial para garantizar que las propuestas fueran implementadas de manera correcta. La revisión detallada de casos específicos, como los problemas reportados durante las misiones de prueba, permitió identificar comportamientos que, si bien parecían erráticos, en realidad correspondían a la operación normal del sistema. Este tipo de análisis fue fundamental para asegurar que el sistema de navegación electrónica respondiera adecuadamente a las condiciones reales de operación, cumpliendo con los estándares de calidad y rendimiento establecidos.

Finalmente, en cuanto a la propuesta de incorporar un botón para el cambio de combustible en vehículos multipropósito, se realizó un trabajo exhaustivo desde la ingeniería de requerimientos para integrar de manera homogénea la gestión del sistema híbrido con el uso de diferentes tipos de combustibles, incluyendo el gas licuado (LPG). Este desarrollo refleja la capacidad del sistema de adaptarse a una oferta energética más variada y amigable con el ambiente, lo cual es un paso importante hacia la reducción de emisiones contaminantes. La arquitectura diseñada para esta función fue un ejemplo de cómo es posible garantizar la interacción fluida entre distintos sistemas del vehículo, como la planta motriz (PTM) y la gestión híbrida (HM), asegurando que las transiciones entre modos de combustible sean suaves y no afecten la experiencia del usuario. En conclusión, la práctica ha permitido no solo desarrollar de manera efectiva la ingeniería de requerimientos del software de navega-

ción electrónica, sino también implementar mejoras que refuerzan la capacidad del sistema para adaptarse a las demandas actuales del mercado. Con una mirada puesta en el futuro, se han sentado las bases para que el sistema de navegación siga evolucionando en dirección hacia una movilidad más sostenible y eficiente, en línea con las exigencias regulatorias y las expectativas de los usuarios. La experiencia obtenida en este proceso ha sido clave para consolidar la comprensión de los desafíos inherentes a la ingeniería de requerimientos en la industria automotriz, confirmando la importancia de un enfoque meticuloso y orientado a la optimización del rendimiento energético y funcional de los vehículos híbridos.

REFERENCIAS

- [1] M. E. García, “Systems Organization and Process,” 2024, (Internal Document)).
- [2] D. Katanich, “Hybrid-electric car sales grew the most in the EU last month but petrol-fuelled cars are still in high demand,” *Euronews bussiness*, Marzo 2024.
- [3] INCOSE, “System and SE Definitions,” <https://www.incose.org/about-systems-engineering/system-and-se-definitions>, 2024, accedido en Abril de 2024.
- [4] SEBoK, “System (glossary),” [https://sebokwiki.org/wiki/System_\(glossary\)](https://sebokwiki.org/wiki/System_(glossary)), 2024, accedido en Abril de 2024.
- [5] R. R. Young, *The Requirements Engineering Handbook*. Artech House Publishers, Noviembre 2003, vol. 1.
- [6] P. Laplante, M. Kassab, *Requirements Engineering for Software and Systems*, 4th ed. Auerbach Publications, Junio 2022, vol. 1.
- [7] J. M. Fondón, “Coche microhíbrido: qué es un MHEV y cómo funciona,” <https://www.renault.es/blog/actualidad/coche-micro-hibrido.html>, Diciembre 2023, accedido en septiembre de 2024.
- [8] U. Eliasson, R. Heldal, E. Knauss, P. Pelliccione, “The need of complementing plan-driven requirements engineering with emerging communication: Experiences from Volvo Car Group,” in *2015 IEEE 23rd International Requirements Engineering Conference (RE)*, vol. 1. Ottawa, Canada: IEEE, 2015, pp. 372–381.
- [9] K. Gruber, J. Huemer, A. Zimmermann, R. Maschotta, “Integrated Description of Functional and NonFunctional Requirements for Automotive Systems,” *7th IEEE International Conference on System Engineering and Technology (ICSET 2017)*, Octubre 2017.
- [10] J. Aguilar Cisneros, G. Garcia, C. Fernández-y-Fernández, “Software Requirement Specification for the Automotive Sector: The Case of a Post-Collision Event Control System,”

in *2017 5th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT)*, vol. 1. Merida, Mexico: IEEE, 2017, pp. 10–17.

[11] M. J. (Renault), “E-TECH S HR18 HEV LPG,” 2024, (Internal Document)).