

Memoria de actuación anual: 2023-2024

Adria Bosch Serra

29 de octubre de 2024

1. Introducción

En el contexto de la transformación digital de la industria automotriz, la presente memoria de actuación anual detalla el trabajo realizado por el doctorando Adrià Bosch Serra durante el periodo 2023-2024. Esta tesis, titulada: **Integración de arquitecturas IIoT e Inteligencia Artificial en la Industria Automotriz: diseño y validación de sistemas Flexibles, Sostenibles y Centrado en el Humano**”, se centra en investigar y desarrollar tecnologías que habiliten nuevos sistemas de producción en la planta de Ford Almussafes.

El objetivo principal es implementar diagnósticos dinámicos de los vehículos durante su construcción. Para lograr esto, las tecnologías de Internet Industrial de las Cosas (IIoT) juegan un papel crucial. Estas tecnologías facilitan la conectividad y la comunicación entre dispositivos en la planta, permitiendo la recopilación y análisis de datos en tiempo real. Este flujo de información es vital para la detección temprana de errores y la optimización de los procesos de ensamblaje, asegurando una mayor eficiencia y calidad en la producción.

El uso de datos en este contexto es fundamental. Los datos recopilados a través de sensores y dispositivos conectados proporcionan una visión detallada del estado de los vehículos en cada etapa del ensamblaje. Esto no solo permite una validación más precisa y rápida de los componentes, sino que también ayuda a prever y solucionar problemas antes de que se conviertan en fallos críticos. La capacidad de analizar y utilizar estos datos es esencial para avanzar hacia una industria automotriz más sostenible y centrada en el ser humano.

Esta investigación se lleva a cabo en el departamento de lanzamiento de la planta de Ford Almussafes, alineándose con sus objetivos de explorar y aplicar conceptos y tecnologías innovadoras para las futuras generaciones de

vehículos. El entorno de la planta proporciona una plataforma ideal para investigar las tendencias emergentes en la industria y justificar la aplicación práctica de dichas investigaciones en proyectos reales.

2. Trabajo realizado anualidad 2023-2024

Durante la primera anualidad del desarrollo de la tesis se han realizado diversos trabajos en proyectos de investigación desarrollados en planta piloto como el proyecto E-Beat. La participación en estos proyectos ha habilitado la investigación en diversas áreas como la tecnología HIL o los principios de la industria 5.0. Además, durante la realización de estos proyectos se ha podido profundizar en el conocimiento de los procesos actuales de lanzamiento y montaje, permitiendo un estudio del estado actual de la planta e identificar objetivos de mejora.

2.1. E-Beat

E-Beat se trata de un proyecto financiado por el cdti (Centro para el desarrollo tecnológico y la innovación) que tiene el objetivo de investigar sobre tecnologías de monitorización digital y validación temprana. En este proyecto ha proporcionado un marco muy adecuado para la investigación, tanto académica como de la compañía Ford y sus procesos actuales. El proyecto de E-Beat lo compone un consorcio de empresas con el objetivo de desarrollar seis actividades relacionadas con la digitalización de procesos y validación avanzada. El departamento de lanzamiento de Ford ha participado en tres de estas actividades, y el doctorando ha participado de la manera que se detalla en los siguientes apartados.

2.1.1. Actividad 1

Objetivos:

Esta actividad tiene el objetivo de investigar el funcionamiento de la red de comunicación asociada a la batería de alta tensión del vehículo. El objetivo principal de esta actividad es investigar sobre metodologías para mejorar el proceso de testeo y lanzamiento de las baterías de alta tensión. Para el cumplimiento de este objetivo se pretende crear un banco de trabajo integrando una batería real y un módulo de control del subsistema de carga de la batería, con tal de poder testear y validar los procesos de planta. Este objetivo corresponde a la empresa MALHE.

Funciones y trabajos realizados por el doctorando:

Durante la realización de esta actividad el doctorando ha asumido diversas funciones. La primera de estas funciones ha sido la de investigar las comunicaciones del subsistema de alimentación implicado, utilizando diferentes herramientas de análisis para poder comprender el comportamiento del vehículo en la sección de EoL(End of Line). Por otra parte, se ha realizado un trabajo académico sobre el estado del arte de las diversas herramientas similares al banco a desarrollar, para establecer funcionalidades, trabajos futuros y métodos de coordinación con otras herramientas.

Objetivos alcanzados:

Durante la participación de este proyecto se ha podido realizar un aprendizaje sobre métodos y herramientas de investigación para el vehículo, lo cual será de gran utilidad para otros proyectos. Pese a que el banco de trabajo marcado como objetivo aun no ha podido completarse, la investigación realizada sobre las tecnologías implicadas, y en especial del vehículo y su método de fabricación resultan de gran utilidad para otros proyectos.

2.1.2. Actividad 2

Objetivos:

Esta actividad tiene el objetivo de investigar metodologías de comunicación con los diferentes subsistemas del vehículo que permitan desarrollar nuevos procesos de validación del vehículo. Además, se pretende desarrollar una herramienta que permita la investigación de futuros proyectos como el presentado en el apartado 2.2. Para ello se ha desarrollado un banco de trabajo que reproduce el subsistema de faros del vehículo incluyendo elementos reales del vehículo como los faros o el módulo de control HCM.

Funciones y trabajos realizados por el doctorando:

En esta actividad el doctorando ha asumido las funciones de investigación y desarrollo del banco de trabajo. Además se han asumido las funciones de coordinación de los miembros del equipo participantes en este proyecto en las labores de investigación.

El desarrollo de este banco se ha dividido en tres secciones, como se puede observar en la figura 1, con objetivos de investigación individuales.

Sección 1:

La primera sección trata de establecer una **comunicación con los faros del vehículo**. El objetivo de esta sección es poder estudiar las **líneas de comunicación CAN privadas** del vehículo como esta entre el HCM y los faros. De esta manera se pueden estudiar los diversos requisitos y herramientas necesarias para poder establecer una comunicación con las redes

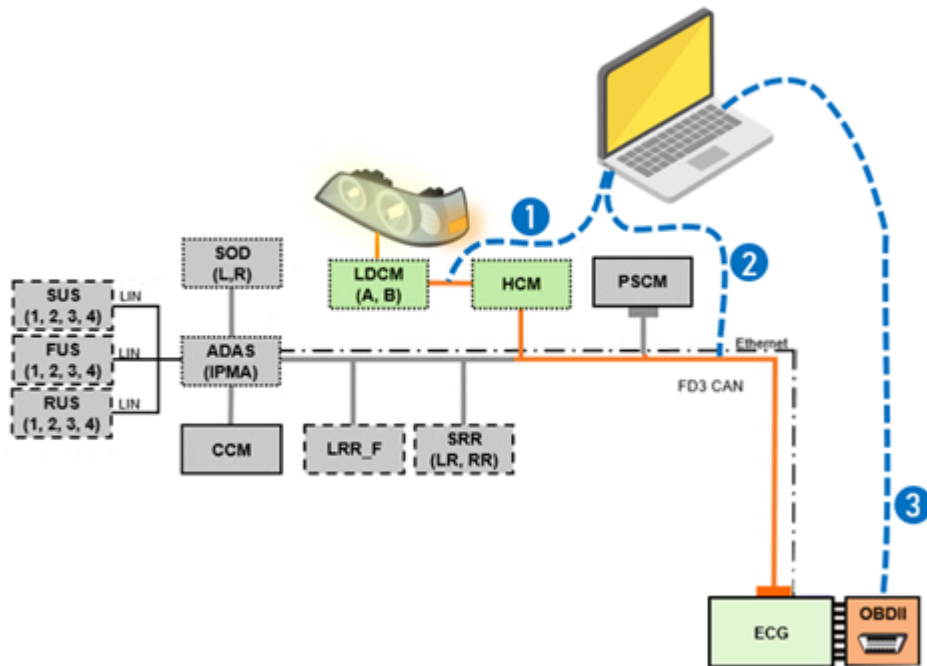


Figura 1: Esquema descriptivo del proyecto del banco de faros

privadas del vehículo. Para la realización de esta primera sección se ha realizado un estudio del funcionamiento de los faros del vehículo de producción actual, tanto de sus comunicaciones como del hardware necesario. Para ello se han revisado las diversas fuentes de información del vehículo como planos, bases de datos o grabaciones de las comunicaciones CAN del vehículo. Una vez realizado este estudio se ha implementado un banco de trabajo con unos faros de vehículo reales y todo el cableado necesario para su correcto funcionamiento. En este caso solo era necesaria el cableado referente a la alimentación y a la línea CAN. Paralelamente, y gracias al estudio de las bases de datos de mensajes CAN del vehículo, se ha preparado un proyecto del programa CANoe que permite el control de las funcionalidades básicas de los faros del vehículo.

Sección 2:

La segunda sección de este proyecto trata de establecer una **comunicación con la línea CAN FD3**. En este caso se pretende estudiar las líneas de comunicación CAN del vehículo para estudiar los diversos requisitos y herramientas necesarias para poder establecer una comunicación con las redes CAN del vehículo. Para la realización de esta primera sección se ha realizado

un estudio del funcionamiento del módulo HCM del vehículo de producción actual, tanto de sus comunicaciones como del hardware necesario. Para ello se han revisado las diversas fuentes de información del vehículo como planos, bases de datos o grabaciones de las comunicaciones CAN del vehículo. El módulo HCM es el módulo encargado de controlar las diversas funciones de iluminación inteligente del vehículo. Este recoge diversas variables de su entorno para activar o desactivar funciones como el “vending light” o el apagado automático de faros. Este módulo se comunica a través de una red privada con los faros, y a través de una red CAN FD con los módulos relacionados con la asistencia a la conducción y el resto del vehículo. Una vez realizado el estudio, se ha implementado la incorporación al banco de trabajo de la primera sección. Para ello además del módulo HCM, se han incorporado los sensores de nivelado del vehículo y todo el cableado necesario. De igual manera que en la sección anterior se ha realizado un proyecto de CANoe que permite controlar el módulo HCM a través de las señales que naturalmente ocurrirían en el vehículo.

Sección 3: Por último, la tercera sección tiene el objetivo de incorporar **procesos de planta** al banco de trabajo, con tal de poder testear y validar procesos de EoL. De esta manera el banco de trabajo puede utilizarse como herramienta de investigación para proyectos de mejora del proceso, además de validación de modificaciones en el subsistema de faros del vehículo. Para cumplir el objetivo de esta sección se ha realizado un estudio del proceso de testeo del vehículo en la planta con tal de poder reproducirlo. En este caso la planta utiliza mensajes DID a través del protocolo OBD II para poder validar el vehículo. Además, se ha estudiado los diferentes requerimientos de seguridad de los módulos para poder realizar dichas pruebas, con el objetivo de reproducir al completo el proceso de validación. Para ello se han investigado los protocolos de seguridad de los módulos de la compañía y se han realizado diversas pruebas con herramientas como vector CANoe o DET. Para esta sección no ha sido necesario una modificación del hardware del banco.

Objetivos alcanzados: En lo referente a la ejecución de los objetivos propuestos para esta actividad se ha completado con éxito la implementación de las tres secciones del proyecto descritas anteriormente. Además, esta investigación ha resultado de utilidad para otros proyectos de investigación de la planta que requerían de controlar los faros sin la necesidad de un vehículo. Por otra parte, se han adquirido conocimientos imprescindibles para la ejecución del proyecto descrito en la sección 2.2. Estos conocimientos engloban los diversos estudios realizados sobre requerimientos, bases de datos y procesos de planta para la correcta ejecución de la actividad 2. De

está manera los próximos proyectos están pudiendo ser diseñados gracias al trabajo y los conocimientos adquiridos en esta actividad.

2.1.3. Actividad 3

Esta actividad se trataba de una colaboración con el suministrador Valeo, cuyo objetivo es validar el software de simulación de humedades en los faros del vehículo. En esta actividad la única función asumida por el doctorando ha sido la de organizar y ejecutar los ensayos con vehículos reales requeridos por la empresa Valeo.

2.2. On the line vehicle testing

Utilizando como base los conocimientos adquiridos durante la realización del proyecto anterior, la realización de la tesis se ha enfocado en el proyecto *On the line vehicle testing* el cual tiene los siguientes objetivos. En primer lugar, la **aplicación de tecnologías IIoT** al proceso de fabricación para la **detección temprana de errores** y configuración de vehículos. Por otra parte, este proyecto responde, en primera estancia, a la **problemática de los fallos de conexión** de los diferentes conectores cuya detección tardía implica un sobrecoste de reparación. Por último, el proyecto trata de sentar una base para futuras estructuras electrónicas y métodos de fabricación como el Zero Fail forward en la que la compañía Ford está mostrando interés. De está manera se pretende diseñar un sistema capaz de soportar estas nuevas metodologías de fabricación y validación con el objetivo de preparar a la planta para la llegada de nuevos modelos.

2.2.1. Descripción del proyecto

En una aproximación al concepto de fábrica digital y conectada, característica de la industria 4.0 y 5.0, este proyecto pretende utilizar las herramientas IIoT disponibles para establecer una validación y configuración temprana de los vehículos.

Con los conocimientos adquiridos y tras una investigación de los procesos y tecnologías disponibles, se ha diseñado un sistema, ilustrado en la figura 2 el cual consta de tres niveles diferenciados con las siguientes funciones:

- **Gestor “maestro”**: Programa encargado de gestionar la información y los datos en tiempo real de la fabricación y enviarlos a las bases de datos correspondientes. Por otra parte, serviría de gestos de tareas y

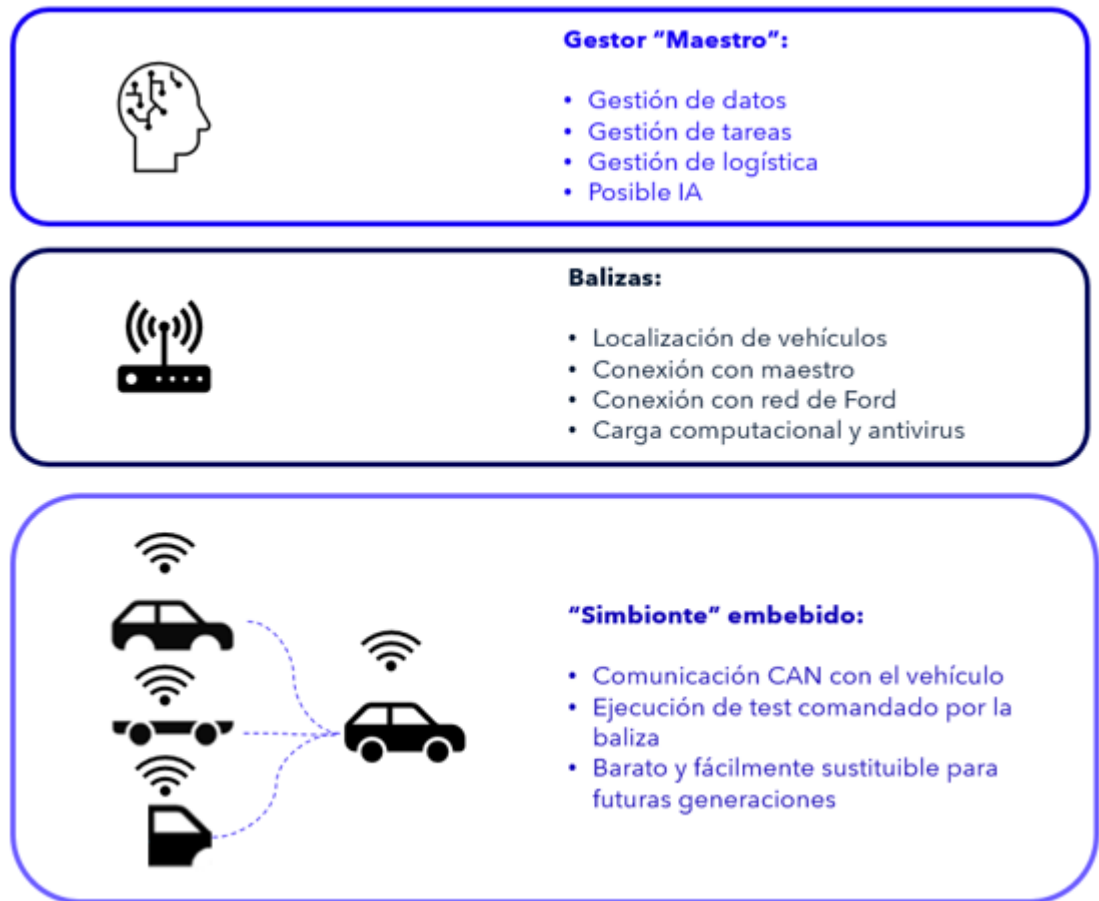


Figura 2: Esquema de niveles del sistema On the line vehicle testing

logística de la línea con la posible aplicación de la IA para la optimización de tareas. Sería el encargado de distribuir las tareas a las balizas del nivel inferior explicado a continuación. Por último, deberá gestionar la conexión con otros proyectos de la planta como AGVs o tareas de mantenimiento.

- **Baliza:** En este nivel se encuentran las balizas, las cuales son “esclavos” del “maestro” del nivel superior. Estas balizas realizarían diversas funciones, entre las que se incluyen la localización de los vehículos y el lanzamiento de ordenes específicas a los “simbiontes”. Además, estas balizas serían las encargadas de cargar todo el coste computacional

relacionados con antivirus y otros softwares requeridos para Ecats, liberando así de esta carga a los simbioses.

- **Simbioses:** Este es el nivel más bajo del proyecto. Consiste en un sistema embebido lo más simplificado posible para hacer menos costosa su sustitución. Las tareas de las que los simbioses son responsables es el envío de señales CAN dentro del vehículo necesarias para comprobar la conexión de componentes.

El funcionamiento del sistema sería el siguiente. Una vez instalado el simbiose en el vehículo este enviaría señales CAN a los diversos módulos con el objetivo, en primera estancia, de comprobar su correcta conexión y de enviar el resultado a la baliza correspondiente. El envío de estas señales sería indicado por la baliza correspondiente dependiendo de la estación en la que se encuentre el vehículo. En el caso de existir un error, este se informaría a través de las tablets de la planta y se indicaría mediante diferentes herramientas de visualización el conector o módulo afectado para ser revisado en la propia línea. En la figura 3 podemos observar un ejemplo de la organización de la línea de montaje del proyecto.

2.3. Trabajo académico

En lo referente al trabajo académico y de investigación, se ha realizado un trabajo de revisión bibliográfica exhaustivo al respecto de diversas temáticas y tecnologías. Dado que la realización de la tesis se enmarca en el estudio de la industria 5.0, mucho del trabajo académico se ha fundamentado en el estudio de las tecnologías necesarias para la implementación de esta nueva generación de la industria. Los pilares en los que se basa la industria 5.0 son los de una industria flexible, sostenible e humano céntrica, la cual no se sustenta en nuevas tecnologías sino en la innovación de la aplicación de las tecnologías ya existentes.

Durante la realización de esta tesis se investigarán tres tecnologías, IIoT, gemelos digitales e inteligencia artificial, que permitirán la implementación de un sistema de industria 5.0 para el proyecto *On the line vehicle testing*. De esta manera se ha realizado una revisión bibliográfica del estado del arte de estas tres tecnologías para su correcta investigación y aplicación.

Por otra parte, destacar la definición y entrega del **plan de investigación** requerido para el cumplimiento del programa de doctorado. En este se han definido las diferentes hipótesis de la investigación y las metodologías a aplicar para la comprobación de las mismas, además de la planificación de los objetivos para los próximos tres años de investigación. Finalmente, se está

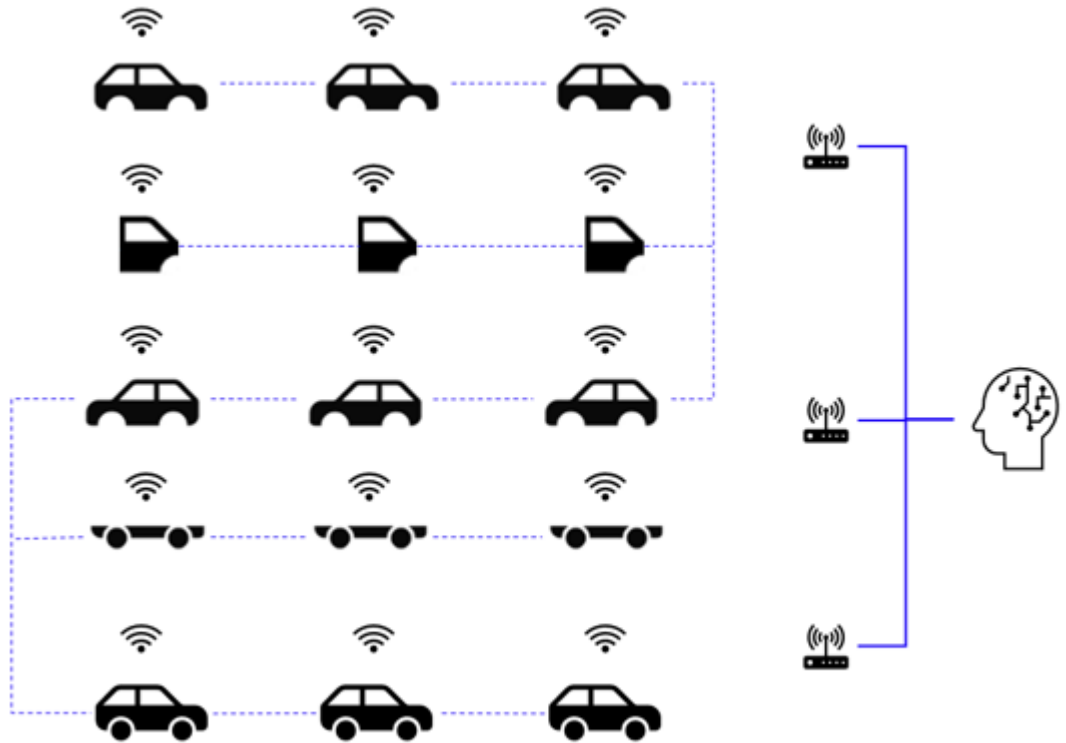


Figura 3: Ilustración de línea de montaje con el sistema On the line implementado

trabajando para publicar el primer artículo de la tesis, y se ha comenzado la redacción del segundo.

Por último, gracias al contexto de realización de la tesis en planta piloto, se han podido realizar múltiples tareas de investigación. Específicamente el doctorando ha coordinado tareas de investigación en proyectos de innovación, además de ejecutar diversas tareas como revisión bibliográfica, diseño y definición del alcance de proyectos con tecnologías como HIL (Hardware In the Loop).

3. Plan de trabajo para anualidad 2024-2025

En la anualidad 2024-2025 se pretende asentar las bases necesarias para la implementación de los proyectos de investigación de *On the line vehicle testing*. Con el objetivo de poder realizar un sistema de industria 5.0 que pueda almacenar datos en tiempo real de calidad, uno de los objetivos de la investigación de la próxima anualidad, es la implementación de un modelo de vehículo de calidad que pueda servir para las distintas aplicaciones a desarrollar durante la tesis, como pudiera ser un gemelo digital. Por otra parte, se pretende realizar la investigación necesaria para la implementación del nivel de simbiote, detallado en el punto 2.2 de este mismo documento.

3.1. Investigación en el modelado automático de vehículo

Actualmente muchos de los proyectos desarrollados en la planta pretenden recoger datos de calidad del proceso y de la propia planta de montaje. Sin embargo, para muchos de los proyectos a desarrollar es necesario disponer de la información de cada vehículo y sus componentes de forma precisa y fiable. Existen múltiples investigaciones referentes a modelado de vehículo para su desarrollo o una vez finalizado el producto, sin embargo, no se han encontrado investigaciones para el modelado de vehículos apropiado para el entorno de manufactura. Para poder desarrollar las herramientas de software necesarias para proyectos como el *On the line vehicle testing*, u otras como el pasaporte digital, es necesario disponer de manera digital, de toda la información del vehículo en producción de manera fiable y actualizada. Además, si se desea obtener un gemelo digital de los vehículos producidos, se requiere la disponibilidad de la información completa del vehículo.

3.1.1. Objetivos

Habiendo identificado las necesidades de proponen los siguientes objetivos a completar en la anualidad 2024-2025:

- Investigación sobre metodologías de modelado apropiadas para vehículos de producción.
- Investigación de estrategias de almacenamiento y envío de modelos para su utilización en aplicaciones de software externas a la de modelado como pasaporte digital o inteligencia artificial.
- Investigación de grafos neuronales para el desarrollo de aplicaciones inteligentes con modelos de vehículos.

- Investigación de la aplicación de la filosofía de gemelo digital utilizando modelo de vehículo basado en grafos.
- Implementación de una herramienta de modelado automático de vehículo a través de documentos de producción.

3.2. Investigación del nivel simbiote-baliza del proyecto On the line vehicle testing

Utilizando los conocimientos y herramientas adquiridos en proyectos como el descrito en el apartado 2.1 se pretende avanzar en la investigación del elemento simbiote-baliza del proyecto Zero Fail Forward. Como se describe en el apartado 2.2 el elemento del simbiote se trata de un dispositivo que tiene el objetivo de dotar de capacidades inteligentes a un vehículo en producción, es decir, capacidad de diagnóstico y comunicación con la planta. De esta manera se pretende validar las conexiones del vehículo y disponer del estado del vehículo durante su fabricación. Para el desarrollo de los algoritmos de control del sistema y el correcto almacenamiento y actualización del estado del vehículo, es necesario disponer de la información del mismo lo cual el trabajo del apartado 3.1 permitirá.

Por otra parte, se realizará un estudio comparativo entre las diversas redes disponibles para esta aplicación. Se pretende realizar un estudio orientado a una publicación con el objetivo de analizar el comportamiento en un aplicación industrial de las redes; wifi, Thread, zigbee y bluetooth.

3.2.1. Objetivos

Habiendo identificado las necesidades de esta tarea se proponen los siguientes objetivos para la anualidad 2024-2025:

- Investigación de los protocolos de comunicación IIoT más apropiados para la comunicación simbiote-baliza.
- Investigación de algoritmos de gestión apropiados para la detección de desconexiones a través de mensajes CAN.
- Diseño del proceso de testeo del vehículo
- Prueba de concepto del sistema con dispositivo simbiote.

3.3. Trabajo académico

En lo referente al trabajo académico a realizar durante la anualidad 2024-2025, se pretende realizar la publicación referente al trabajo del apartado 3.1 a lo largo de la primera mitad del año. Por otra parte, se pretende preparar una segunda publicación a lo largo de esta misma anualidad utilizando el trabajo realizado como justificación de las mismas. Por último, el trabajo de investigación vendrá acompañado de una revisión bibliográfica y del estado del arte de las tecnologías y métodos implicados en los trabajos 3.1 y 3.2

3.3.1. 3.4. Estado actual 28/10/2024

A lo largo del último año, se han logrado avances significativos en los objetivos de investigación planteados en la tesis. En cuanto a la investigación del modelado automático del vehículo, descrita en el punto 3.1, se ha propuesto una metodología innovadora para el modelado de vehículos en producción. Esta metodología ha permitido obtener un modelado detallado del cableado del vehículo, el cual ya está siendo utilizado en aplicaciones en desarrollo dentro de la planta de Ford Almussafes. Este logro no solo representa un avance en la precisión y fiabilidad de los datos del vehículo, sino que también sienta las bases para futuras aplicaciones como el gemelo digital. Además, se ha escrito una publicación que detalla esta metodología y sus resultados, la cual está actualmente en proceso de evaluación por revistas científicas para su posible publicación. Por otro lado, en lo que respecta al trabajo relacionado con el "simbionte", detallado en el apartado 3.2, se ha completado una exhaustiva búsqueda en el estado del arte sobre redes de comunicación disponibles en el mercado. Esta investigación ha sido crucial para identificar las tecnologías de comunicación más adecuadas para la aplicación específica de diagnóstico dinámico durante la producción. Como resultado, se ha diseñado un experimento cuyo objetivo es analizar el funcionamiento y la eficiencia de estas redes en el contexto de la planta de Ford. Este experimento proporcionará información valiosa que guiará la selección y la implementación de la red de comunicación más efectiva para el sistema simbiote-baliza.

Firma: _____

Adrià Bosch serra
Doctorando

Firma: _____
Juan Francisco Blanes Noguera
Codirector
Miembro del comité de seguimiento