



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Master

Automatización y optimización de los movimientos intralogísticos en una empresa mediante la integración y gestión de vehículos industriales autónomos.

Automation and optimization of intralogistics movements of a company through the integration and management of autonomous industrial vehicles.

Autora

María Báguena Gutiérrez

Director

Jesús Antonio Royo Sánchez

Titulación

Máster en Ingeniería Industrial

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza

2022/2023

AGRADECIMIENTOS

Cuando era pequeña mi madre me decía que no se podía estar en misa y en las procesiones, y conforme he ido creciendo, me he ido dando cuenta, sobre todo, estos últimos dos años.

En estos 6(+1) años de carrera y máster siempre he intentado llegar a todo. El primer año de carrera ya estaba independizada (a gastos pagados claro), es lo que tiene ser de pueblo. Trabajaba de profesora de patinaje artístico, mi gran pasión desde los 3 años, para poder pagarme algún capricho, conocí gente maravillosa, que empezaron siendo compañeros y se han convertido en grandes amigos, tenía vida social y, aunque el primer año para muchos suele ser un desastre, a mí no me fue mal, eso sí, los sobresalientes del instituto se convirtieron en aprobados, pero sabía dónde estaba, una ingeniería no es “moco de pavo”.

Los años fueron pasando, unos mejor que otros, pero iba aprobando. El año 4(+1) comencé mi recorrido profesional, de prácticas en una buena empresa y con mucho tiempo libre, y qué necesario fue, por primera vez en mucho tiempo tuve tiempo para mí, para probar cosas nuevas y descubrí otra gran pasión, el fitness, que se ha convertido en mi estilo de vida y me ha enseñado mucho. Mucha gente piensa que es algo puramente superficial, pero no saben cuánto se equivocan, el fitness no solo entrena tu cuerpo, entrena tu mente. Te enseña a empujar el doble de lo que tu mente cree que puede, a no acomodarte, a comprometerte con tus metas, por muy difíciles que parezcan y lentos sean los resultados, te enseña esa disciplina que necesitas para crecer en muchos otros aspectos de tu vida, incluyendo el profesional. Te enseña a siempre buscar una mejor versión de ti.

Fue mi refugio y terapia en ese primer año de máster en el que me sentí perdida, año en el que seguí de prácticas con un nuevo proyecto, al mismo tiempo que toda la carga de trabajo que requería llegar a convertirme en Ingeniera Industrial. Tuve pensamientos de abandonar, pero continué, e hice todo lo posible por “estar en misa y en las procesiones”, sacrificando mis fines de semana, mi descanso, pero buscando siempre 5 horas a la semana para entrenar, al fin y al cabo, solo es un 3% de la semana.

Afortunadamente, me di cuenta de que el problema no solo era el poco tiempo que tenía, si no que el camino profesional que estaba tomando no encajaba conmigo, no me llenaba. Y es que, a veces es necesario perderse para encontrarse, y comenzar a formar parte de Moontech, hizo que volviera a encontrarme. Ahora me gusta lo que hago, y aunque sea una empresa pequeña, confío en que, con el esfuerzo de cada uno de los que formamos parte, crecerá, creceré con ella y me permitirá acercarme cada vez más a mis metas.

Y todo esto para decir que, mi madre tenía razón, no se puede estar en misa y en las procesiones sin que te juegue malas pasadas, pero si se puede entrenar la disciplina y la planificación, siempre priorizándote, pero sin dejar de lado las responsabilidades. Es a ella a la primera que quiero dar las gracias, porque siempre me ha respetado y me ha ayudado a ser quien quiero ser. A mi padre, por todo lo que ha trabajado para que tanto a mi hermano como a mí no nos faltase de nada y por estar siempre en primera línea para aplaudirme y sentirse orgulloso. A mi hermano, por siempre ver y recordarme mi potencial. Y a mi pareja y compañero de vida, por ser quien ha tenido que soportar el agobio e irritabilidad de mis peores momentos, y sin tener ningún tipo de obligación, quedarse.

Finalmente, agradecer a todo el equipo de Moontech que me hayan acogido y enseñado como lo han hecho. En especial a Pascual Guiu por ser quien me abrió la puerta e hizo que diera el paso al cambio y Jorge Álvarez, que, aunque su llegada ha sido reciente, se ha preocupado por dedicarme tiempo y aconsejarme para que este trabajo esté lo más cercano al sobresaliente, al igual que Jesús Royo al que también quiero agradecer por tutorizarme, resolver todas mis dudas y también aconsejarme.

RESUMEN

El objetivo de toda fábrica es crear productos útiles a la sociedad generando valor añadido, por eso es muy importante aprovechar los recursos existentes al máximo. El movimiento interno de componentes resulta imprescindible, sin embargo, no aporta ningún valor añadido al producto final.

Por ello, en este trabajo se va a llevar a cabo el estudio de la automatización completa de todos los movimientos internos de la fábrica de una empresa perteneciente al sector automovilístico. Un sector en el que la automatización de procesos crece cada vez más, lo que ha hecho que esta empresa de el paso a la implantación de tecnología innovadora como son los AMR (Autonomous Mobile Robots) tipo transpaleta, para la automatización de sus movimientos internos, anticipándose a sus competidores y consiguiendo con ello un ahorro de costes considerable y un aumento de la seguridad en el entorno de trabajo.

Durante el desarrollo del proyecto, se realizará un estudio de la situación de partida, determinando sus características y estableciendo una serie de criterios para la selección de la tecnología a utilizar, de forma que se pueda seleccionar aquella que mejor se adapte al proceso. Una vez seleccionado el tipo de vehículo autónomo a utilizar, se estudiará y propondrá una solución para la adaptación de los procesos, determinando sus nuevas características, calculando el número de vehículos necesarios y definiendo las acciones a realizar para su implantación. Además, se describirán las características de la App que desarrollará Moontech, empresa proveedora e implantadora de los robots utilizados, para el control y gestión de los vehículos, y que será clave para conseguir la funcionalidad requerida.

Finalmente, se realizará el estudio de la rentabilidad y viabilidad económica para la empresa, obteniendo un resultado positivo, y se llevará a cabo una evaluación de riesgos e impacto ambiental.

ABSTRACT

The goal of every factory is to create useful products to society by generating added value. Hence, it is vital to leverage existing resources. Internal movement of components is essential; however, it does not add any value to the final product.

For this reason, this study will conduct the complete automation of internal movements of an automotive factory. A sector in which automation process is growing more and more, which has led this company to move to the implementation of innovative technology such as forklift AMR (Autonomous Mobile Robots), for the automation of its internal movements, anticipating its competitors and thus achieving considerable cost savings and increased safety in the working environment.

During the project development, a study of the initial situation will be undertaken, its characteristics will be determined and a set of criteria will be established for the selection of the technology to be used. The one best suited to the process will be selected. Once the type of autonomous vehicle has been established, a solution for the adaptation of the processes will be proposed. Its new attributes will be determined by calculating the number of vehicles required and defining the actions plan for its implementation. In addition, features of the App will be described. Moontech, supplier and implanter of the robots used, will develop for the control and management of the vehicles, and that will be key to achieving the required functionality.

Finally, a study of the profitability and economic viability for the company will be carried out, obtaining a positive result. Risk and environmental impact assessment will be also carried out.

MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA PRINCIPAL

1. Introducción.....	9
2. Antecedentes y problemática.....	10
3. Objetivos del proyecto.....	10
3.1. Alcance del proyecto.....	10
4. Entorno de trabajo. Método de producción e intralogística actual.	11
4.1. Especificaciones y diagramas de flujo actuales de las líneas de fabricación de la empresa.....	12
5. Entorno tecnológico. Análisis y selección del tipo de vehículo a utilizar.	19
5.1. Vehículos industriales autónomos.....	20
5.2. Análisis y selección.....	22
6. Solución propuesta. Adaptación de las operativas.....	26
6.1. Descripción y especificaciones de la nueva operativa.	26
6.2. Cálculo del número de vehículos necesarios.....	36
7. Acciones a realizar para la integración y gestión de los vehículos.	40
8. App de gestión. Conexiones necesarias, usos y funcionalidades.....	45
9. Viabilidad económica.	49
9.1. Costes y ahorros.	49
9.2. Rentabilidad del proyecto.	50
10. Riesgos del proyecto.....	51
11. Impacto ambiental.	53
12. Conclusiones y líneas futuras.	55
13. ANEXOS.....	58
Anexo I. Estudio de tiempos de la situación inicial.	58
Anexo II. Vehículos Industriales Autónomos. Tipos y características.....	60
Anexo III. Aplicación del método AHP para el establecimiento de prioridades en los criterios de selección.....	66
Anexo IV. Escala utilizada y valoración de los diferentes tipos de vehículos en función de los criterios considerados.....	71
Anexo V. Tecnología SLAM.	74
Anexo VI. Ficha técnica del vehículo industrial autónomo seleccionado.....	75
Anexo VII. Estudio de tiempos en la nueva situación.....	77
Anexo VIII. Descripción de las acciones a realizar para la integración de los vehículos.	79
Anexo IX. Descripción de las partes involucradas en la App y sus conexiones.	86
Anexo X. Descripción detallada de las interfaces de gestión de órdenes y monitorización.....	87
Anexo XI. Descripción detallada del desarrollo en Backend para la gestión de información relacionada.	95
14. Bibliografía.....	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Proyecto HormiGOBOTS.....	9
Ilustración 2. Naves de la fábrica.	11
Ilustración 3. Transpaletas AMR de Moontech.....	24
Ilustración 4. Modelo del robot e identificación de los elementos de seguridad.	25
Ilustración 5. Cambio de ubicación de la flejadora.	26
Ilustración 6. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 1).	41
Ilustración 7. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 2).	42
Ilustración 8. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 3).	42
Ilustración 9. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 4).	43
Ilustración 10. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 5).	43
Ilustración 11. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 6).	44
Ilustración 12. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 7).	44
Ilustración 13. Formato esperado para la interfaz de selección automática.....	46
Ilustración 14. Formato esperado para la interfaz de selección manual.	46
Ilustración 15. Formato esperado para la pestaña “Botonera” de la interfaz de peticiones.	46
Ilustración 16. Formato esperado para la pestaña “Peticiones anteriores” de la interfaz de peticiones.	46
Ilustración 17. Formato esperado para la interfaz de carretillero.	47
Ilustración 18. Formato esperado para la pantalla de AMR de la interfaz de monitorización.	47
Ilustración 19. Formato esperado para la pantalla de Cargadores de la interfaz de monitorización.	47
Ilustración 20. Formato esperado para la pantalla de Operativas de la interfaz de monitorización.....	48
Ilustración 21. Formato esperado para la interfaz de monitorización de tráfico.....	48
Ilustración 22. Presupuesto estimado de la primera fase del proyecto.	49
Ilustración 23. Cita de Bill Gates acerca de la eficiencia de la automatización.....	53
Ilustración 24. Automatización y robótica, sinónimos de sostenibilidad.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados del estudio de tiempos de la situación inicial (con carretilleros).....	18
Tabla 2. Características iniciales de las diferentes operativas de cada una de las máquinas.	19
Tabla 3. Comparación de los tipos de vehículos industriales autónomos en función de su tipo de navegación.....	21
Tabla 4. Comparación de los tipos de vehículos industriales autónomos en función de su método de carga y transporte.	21
Tabla 5. Criterios técnicos a tener en cuenta en la fabricación del vehículo a utilizar.	22
Tabla 6. Criterios operacionales a tener en cuenta en la fabricación del vehículo a utilizar.	22
Tabla 7. Criterios estratégicos a tener en cuenta en la fabricación del vehículo a utilizar.	22
Tabla 8. Prioridades obtenidas mediante el método AHP para cada uno de los criterios considerados.	23
Tabla 9. Resultados obtenidos en la valoración y suma de puntos para la selección de la mejor alternativa.	23
Tabla 10. Descripción de los elementos de seguridad del robot.	25
Tabla 11. PROS y CONTRAS de cada una de las soluciones propuestas.	27
Tabla 12. Disposición de las zonas del almacén donde los AMR realizarán la carga y descarga de embalajes.	28
Tabla 13. Resultados del estudio de tiempos de la nueva situación (con AMR).	34
Tabla 14. Características estimadas de las diferentes operativas de cada una de las máquinas tras la implantación de los AMR.....	35
Tabla 15. Cálculo del número de robots necesarios para la zona 1.	36
Tabla 16. Cálculo del número de robots necesarios para la zona 2.	37
Tabla 17. Cálculo del número de robots necesarios para la zona 3.	37
Tabla 18. Cálculo del número de robots necesarios para la zona 4.	38
Tabla 19. Cálculo del número de robots dedicados (uñas largas) necesarios en la zona de máquinas.	38
Tabla 20. Cálculo del número de robots dedicados (uñas largas) necesarios en la zona de posiciones dedicadas del almacén.	38

Tabla 21. Cálculo del número de robots necesarios en la zona multi-contenedor del almacén.	39
Tabla 22. Acciones necesarias para la implantación de los AMR y estimación de horas de trabajo de cada una de ellas.	40
Tabla 23. Costes acumulados con carretilleros entre los meses 40 y 43.	51
Tabla 24. Descripción de los riesgos del proyectos y recomendaciones preventivas.	53
Tabla 25. Matriz de valoración de los riesgos.	53
Tabla 26. Matriz de clasificación de los riesgos en cuanto a impacto.	53
Tabla 27. Ventajas medioambientales de la automatización industrial.	54

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino almacén (situación inicial). .	13
Esquema 2. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino almacén y flejado intermedio (situación inicial).	14
Esquema 3. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino almacén y zona de buffer intermedia (situación inicial).	15
Esquema 4. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino almacén,	16
Esquema 5. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino montaje y buffer intermedio de vacíos (situación inicial).	17
Esquema 6. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes de componentes (situación inicial).	17
Esquema 7. Flujo inicial propuesto para la adaptación de las operativas con destino flejadora.	26
Esquema 8. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino zona de posiciones dedicadas del almacén (nueva situación).	29
Esquema 9. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino zona multi-contenedor del almacén (nueva situación).	30
Esquema 10. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino flejadora (nueva situación).	31
Esquema 11. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes de componentes (nueva situación).	32
Esquema 12. Flujograma de la retirada-suministro con destino montaje y buffer intermedio de vacíos (nueva situación).	33
Esquema 13. Partes involucradas y conexiones necesarias entre ellas para el desarrollo de la App.	45
Esquema 14. Pasos seguidos en el desarrollo del proyecto.	55

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Venta de productos en la empresa objeto de automatización.	12
Gráfica 2. Coste acumulado con carretilleros vs. con AMR.	50
Gráfica 3. Coste acumulado con carretilleros con respecto al valor de la Inversión total con AMR.	51

1. Introducción.

Los grandes avances tecnológicos de los últimos años han permitido que la **automatización** en las industrias ya no sea algo exclusivo de los grandes sectores, extendiéndose a la mayoría de procesos productivos y logísticos de las empresas con unos costes cada vez menores y un retorno de la inversión más positivo. Tanto es así que esto ha pasado de ser una opción a convertirse en una **necesidad para muchas empresas inmersas en procesos de mejora de su competitividad**.

Este es el caso de una de las empresas que forman parte del **clúster de automoción de Aragón**. En el sector automovilístico la automatización de procesos crece cada vez más, lo que obliga a esta empresa a actuar antes de que sus competidores lo hagan. Además, esta empresa tiene como uno de sus principales objetivos llevar sus fábricas hacia la **industria 4.0.**, por ello, cada año desarrolla en sus instalaciones proyectos de innovación como éste, con los cuales consigue posicionarse como una de las principales empresas del sector, al mismo tiempo que optimizar sus procesos.

Moontech Industrial Solutions, S.L.U (Moontech), empresa que me ha brindado la posibilidad de llevar a cabo este proyecto, nace de esta necesidad de automatización industrial, posicionándose como la primera empresa aragonesa dedicada a la **fabricación e integración de vehículos industriales autónomos**, y dispuesta a ayudar a todo tipo de empresas industriales a **mejorar su eficiencia y productividad mediante la automatización de los movimientos intralogísticos que tienen lugar en sus fábricas**. Uno de sus recientes casos de éxito es la automatización de los movimientos intralogísticos de la empresa Modulos Rivera Alta, S.L. mediante 77 AGV (Autonomous Guided Vehicles) filoguiados.

La empresa objeto de este proyecto, es una fábrica antigua, con pasillos estrechos y falta de espacio para movimientos de AGV de este tipo, por lo que no ha sido hasta ahora cuando se ha decidido a contratar los servicios de Moontech, para encontrar una solución optimizada, eficiente y, en definitiva, automatizada, para sus movimientos intralogísticos, lo cual también supone un **nuevo reto para Moontech**.

Además, este proyecto estará integrado dentro de un proyecto mayor denominado **HormiGOBOTS**, proyecto de I+D que forma parte del **Plan Tecnológico de Automoción Sostenible (PTAS)**, centrado en el “**desarrollo de soluciones basadas en biomimética¹ para la generación de entornos productivos flexibles adaptados a la fabricación de series cortas con volúmenes inciertos de vehículos eléctricos, híbridos enchufables y propulsados por hidrógeno**” [1], que, además, ha sido el **ganador** del prestigioso **premio Pilot 2023** en la línea de **digitalización e innovación logística**.



Ilustración 1. Proyecto HormiGOBOTS.

Dicho proyecto abarca un doble propósito, **robótica móvil conectada mediante 5G²** y optimización de los procesos productivos a través de **tratamiento de datos con la tecnología más avanzada**. Para ello, Moontech está desarrollando una robótica móvil que se integre de manera colaborativa y trabaje como si fueran hormigas, de forma mimética entre sí, mediante el uso del 5G.

¹ Proceso de observar, entender y aplicar soluciones procedentes de la naturaleza a los problemas humanos, en forma de principios biológicos, de biomateriales de toda índole.

² Quinta generación de redes móviles. Representa mejoras en el ancho de banda y la latencia, lo cual permite prestar servicios que con las redes anteriores no se podía.

Así pues, el desarrollo de este proyecto dará los primeros pasos hacia la puesta en marcha del gran proyecto de **HormiGOBOTS**, centrándose en la **optimización y automatización de los procesos intralógicos** que se desarrollan actualmente en una empresa fabricante de componentes para automóviles por inyección de plástico mediante la **integración y gestión de la robótica móvil desarrollada por Moontech**.

2. Antecedentes y problemática

Toda fábrica relacionada con un entorno productivo tiene indicadores de productividad y trabajan siempre en la mejora continua. Su objetivo es **crear productos útiles a la sociedad generando valor añadido**, por eso es muy importante **aprovechar el tiempo y los recursos existentes al máximo**.

El **movimiento de materiales, componentes y productos acabados** dentro de la fábrica resulta imprescindible, sin embargo, **no aporta ningún valor añadido al producto final** puesto que únicamente se mueven elementos, sin realizar acciones sobre ellos. Actualmente son 5 carretilleros por turno de trabajo los encargados de realizar estos movimientos en la fábrica, suponiendo cada uno de ellos unos **gastos de manutención de 30.000 € anuales**.

Con la **automatización** de estos movimientos, la empresa **aumentaría su rentabilidad y gestionaría de manera más eficiente sus recursos**, redirigiéndolos u orientándolos hacia otros puestos, disponiendo así de un mayor número de recursos humanos dedicados a llevar a cabo actividades que aporten un mayor valor añadido.

Además, automatizando el movimiento de productos, también se consigue **reducir el almacenaje** de estos, el cual es otro de los procesos que no aporta ningún valor añadido. Tener productos acumulados sin usar es desperdiciar el espacio que éstos ocupan, por lo que interesa acumular el mínimo material posible.

Otro de los motivos para llevar a cabo esta automatización de movimientos es la **seguridad**. Disponer de **carretillas elevadoras** para el movimiento de productos conlleva **riesgos para la empresa y sus trabajadores**. Pueden producirse accidentes como **vuelcos de la carretilla**, que pueden provocar víctimas mortales, **caída de la carga**, que puede provocar graves lesiones a cualquier persona que se encuentre debajo, además de estropear la carga, **incendios** debidos a la presencia de líquidos o gases inflamables en la carretilla, o por el sobrecalentamiento de componentes como el motor, lo que puede provocar grandes daños tanto en la carretilla y la carga, como en su entorno, o **choques con peatones** que pueden provocar lesiones graves o muertes en el conductor y el atropellado.

Por todo ello, este proyecto nace del deseo de la empresa por aumentar su eficiencia, reducir costes, aumentar seguridad y mantenerse entre los líderes del sector automovilístico a nivel tecnológico.

3. Objetivos del proyecto

La elaboración de este proyecto tiene dos objetivos principales. El primero de ellos es, como ya se ha ido explicando, **automatizar tanto como sea posible el suministro logístico de productos en las naves de la fábrica** objeto, **reduciendo** así **costes** asignados al transporte y suministro de material, y **aumentando** su **seguridad**, a través del uso de nuevas tecnologías como son los **vehículos industriales autónomos**.

El segundo objetivo tiene que ver con la **aplicación de los conocimientos adquiridos** durante mi formación universitaria en el **Grado de Ingeniería de Tecnologías Industriales** y el **Máster en Ingeniería Industrial** en la Universidad de Zaragoza, **en un entorno de trabajo profesional**, completando así la formación recibida y obteniendo el título de Ingeniera Industrial.

3.1. Alcance del proyecto

Al estar este proyecto formulado desde un entorno empresarial, será necesario **conocer** previamente la **fábrica** en la que se desarrolla, los espacios de trabajo, almacén y pasillos, así como las características de la

logística interna que existe actualmente en ella. Así pues, el **foco principal** de este proyecto recae sobre la **adaptación de los procesos “manuales” que actualmente se siguen, en procesos totalmente automatizados mediante el uso de vehículos industriales autónomos**, teniendo en cuenta las normativas existentes en el ámbito de robots colaborativos, circulación en almacenes y prevención de riesgos laborales.

Para ello, se realizará un **estudio completo de la situación inicial de los procesos a automatizar**, analizando las diferentes operativas, tiempos iniciales y características de cada uno de los tipos de embalajes utilizados, para poder **seleccionar adecuadamente el tipo de vehículo autónomo a utilizar**.

Así pues, tras conocer todas las características de los procesos, se realizará una **investigación del estado del arte y funcionamiento de la tecnología disponible en el mercado**, valorándolos en función de diferentes criterios, para **seleccionar el tipo de vehículo que más se adapte** al caso analizado.

Una vez seleccionado el tipo de vehículo a utilizar, **se propondrá una solución**, detallando las **características de las nuevas operativas**, el **cambio en la forma de trabajar** que esto supondrá y los **nuevos tiempos del proceso**, para finalmente realizar el **cálculo del número de vehículos necesarios**, explicar cada una de las **acciones que requiere la integración de los vehículos**, así como las horas estimadas que llevará cada una de ellas, y **calcular la viabilidad económica y rentabilidad del proyecto para la empresa cliente**.

Además, dado que la **App desarrollada por Moontech** para el **control y gestión de los vehículos** es una de las acciones que más valor le dan al trabajo de integración, se dedicará un apartado para describir su **aspecto visual, usos y funcionalidades**. Por último, se estudiarán y valorarán los **riesgos del proyecto**, dando una serie de recomendaciones para su prevención, y se hablará sobre el **impacto ambiental** que tiene este tipo de cambios en las industrias.

4. Entorno de trabajo. Método de producción e intralogística actual.

La empresa en la que se va a llevar a cabo el desarrollo de este proyecto es una **empresa industrial aragonesa** de origen familiar **ubicada en Zaragoza**, la cual está especializada en el **desarrollo y producción de componentes para la industria del automóvil** basados fundamentalmente en la **tecnología de inyección de materiales plásticos**. Su presencia es global y **se distingue por su capacidad de anticipar soluciones innovadoras y sostenibles que generen valor a las necesidades del cliente**. Cuenta con una superficie cubierta de **14.000 m²** y dispone de **28 máquinas de inyección** distribuidas en dos naves unidas.

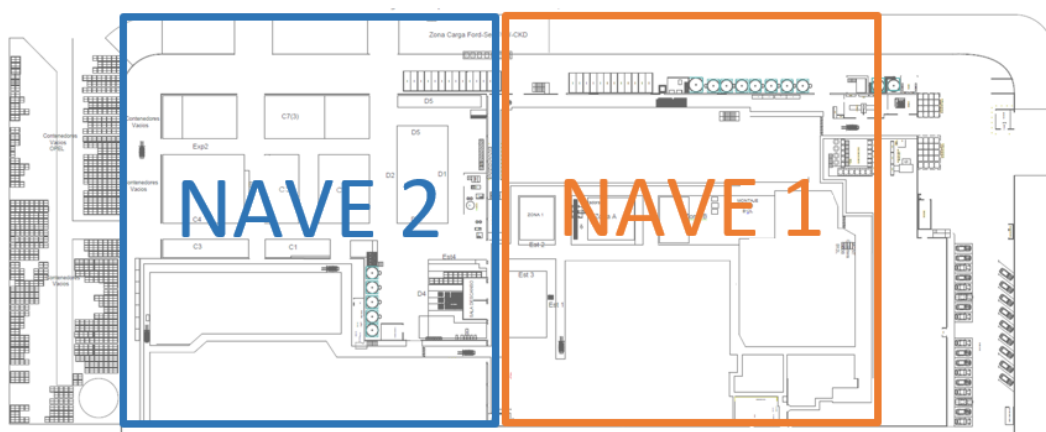
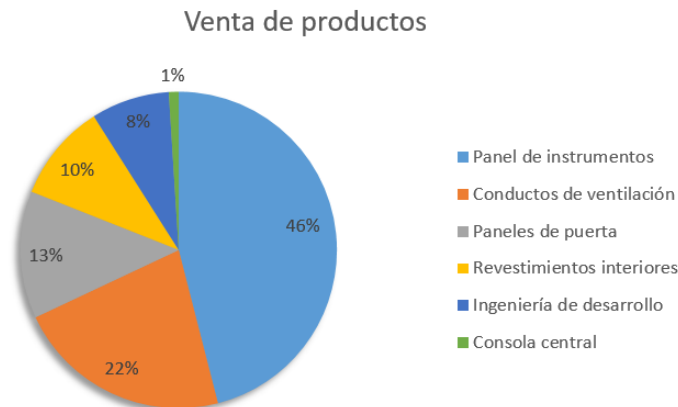


Ilustración 2. Naves de la fábrica.

Entre las piezas que fabrican pueden encontrarse piezas de interiores como el panel de instrumentos, consola central, guantera, paneles de puerta, revestimientos interiores, aplicaciones funcionales y revestimientos exteriores. Se manejan más de 620 referencias distintas, desde piezas que no alcanzan el kilogramo de peso

hasta piezas que pueden alcanzar los 8,5 kilos y 1,8 metros.



Gráfica 1. Venta de productos en la empresa objeto de automatización.
Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, el método de producción que utiliza es un **pull-system**, es decir, el cliente demanda una serie de componentes y, a partir de esta demanda, el departamento de producción calcula y emite las ordenes de fabricación y montaje necesarias a través de un software denominado BMS³, que controla y gestiona la cantidad de piezas que se deben fabricar y procesar, información que llegará al PLC⁴ de cada inyectora, y a las zonas donde se realizan acciones posteriores sobre los componentes. De esta forma, los procesos que se describirán en este apartado seguirán la secuencia marcada hasta llegar al almacén, donde se prepararán y emitirán los contenedores especificados en el pedido, dejando en fábrica el **mínimo stock de seguridad necesario**.

4.1. Especificaciones y diagramas de flujo actuales de las líneas de fabricación de la empresa.

Actualmente, la empresa objeto de automatización cuenta con **27 líneas de fabricación** distribuidas en toda la planta y cuenta con **15 carretilleros, 5 por turno de trabajo**, para realizar los movimientos internos necesarios de los diferentes embalajes utilizados para el transporte del material acabado al almacén.

Cada línea de fabricación está asociada a una máquina que puede fabricar más de un tipo de producto y las cadencias y embalajes asociados a cada producto fabricado son distintos. Además, alguna de las líneas también necesita el suministro de uno o más componentes que también transportan los carretilleros en sus correspondientes embalajes. Por otro lado, cada máquina cuenta con un número distinto de posiciones de retirada-suministro y, además, hay embalajes que deben pasar por flejadora antes de ser destinados al almacén. Todos estos datos fueron transmitidos a Moontech por la empresa ya que, **para una automatización completa de los movimientos, será necesario tener en cuenta todas las casuísticas**.

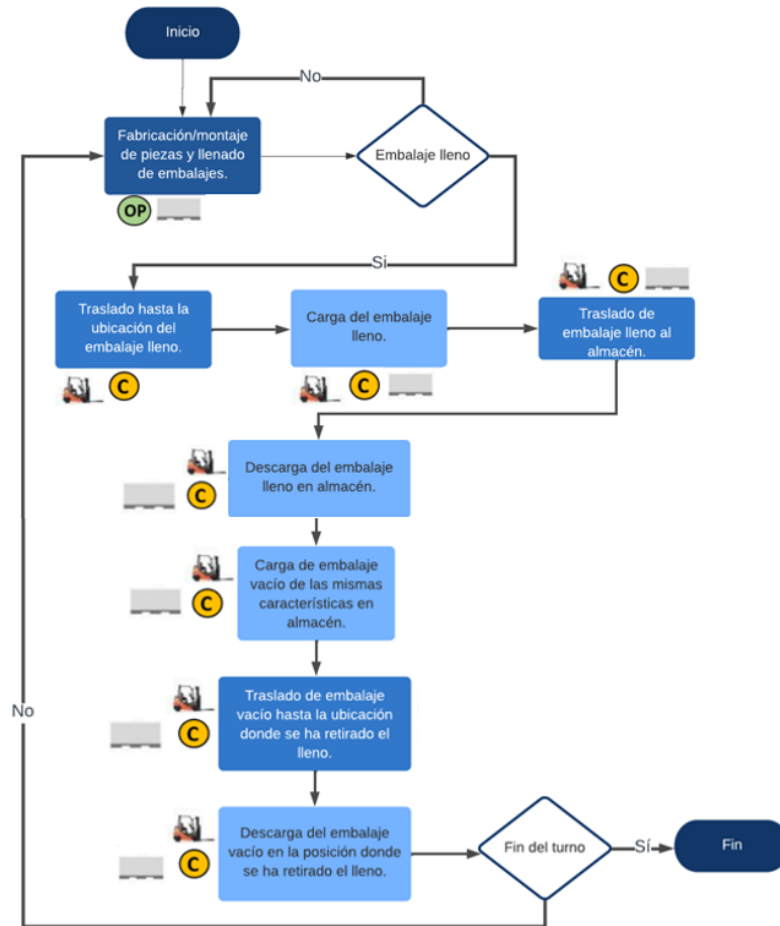
Lo más importante para el estudio del tipo y número de vehículos autónomos a implantar, será saber el **número de operativas diferentes** que pueden darse en cada una de las máquinas y qué **acciones realizan los carretilleros** en cada una de ellas, así como los **diferentes embalajes** que el vehículo deberá ser capaz de transportar.

³ Sistema de control de fabricación que ofrece un concepto modular que proporciona soluciones en tiempo real para la supervisión de las máquinas, gestión de alarmas, planificación de la fabricación e informes, control de calidad, informes y certificados de calidad SPC/SQC, gestión de parámetros de la máquina, trazabilidad, mantenimiento preventivo y control del inventario de las piezas de recambio.

⁴ Aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entradas/salidas digitales (ON/OFF) o analógicos (1-5 VDC, 4-20 mA, etc.), varios tipos de máquinas o procesos”.

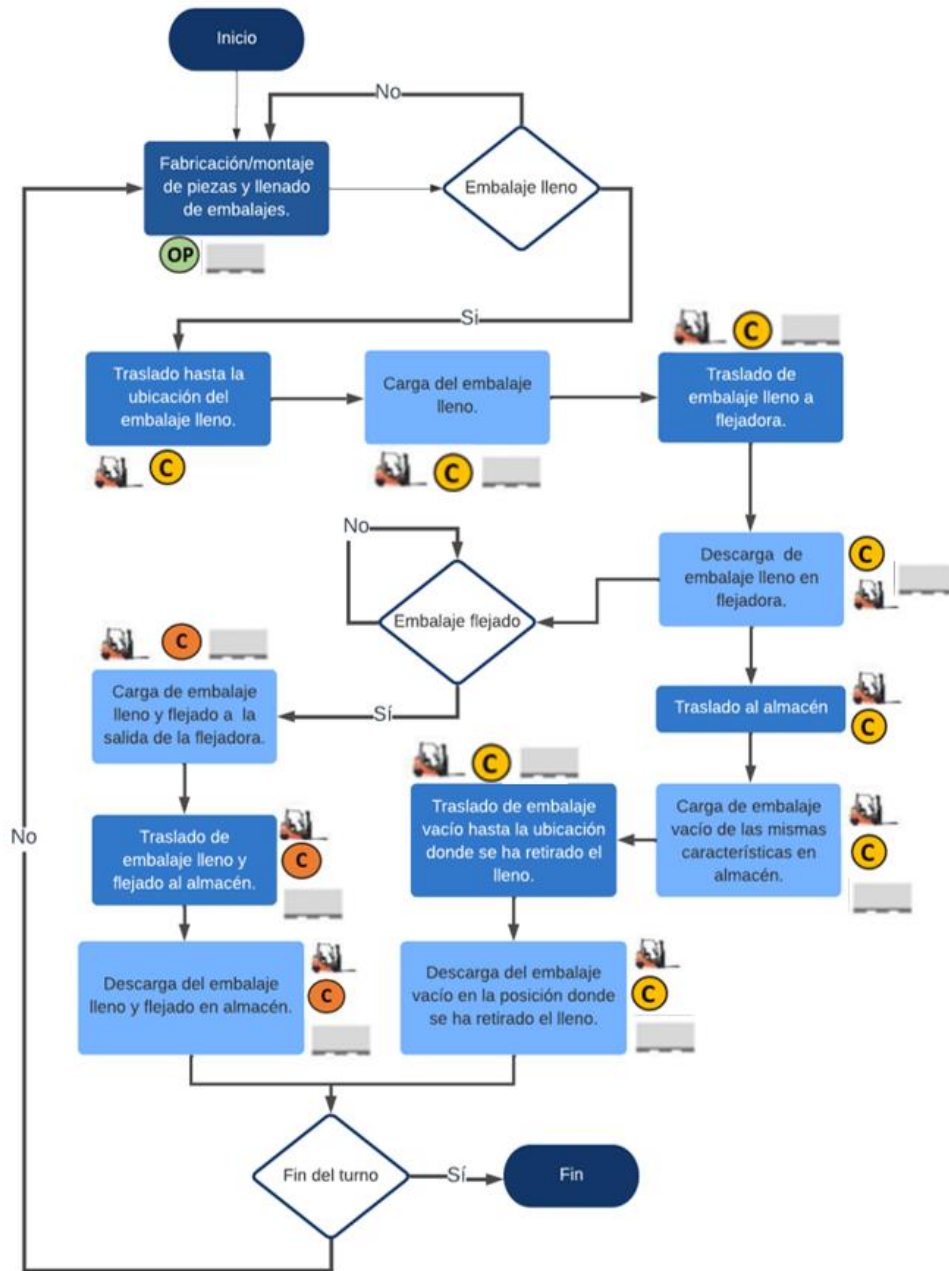
A continuación, se muestran los **diagramas de flujo** de cada una de las operativas diferentes encontradas tras el estudio de los informes transmitidos a Moontech por la empresa cliente. En ellos se pueden ver los recursos necesarios en cada una de las acciones que la forman.

▪ **Operativa 1: retirada-suministro de embalajes con destino almacén.**



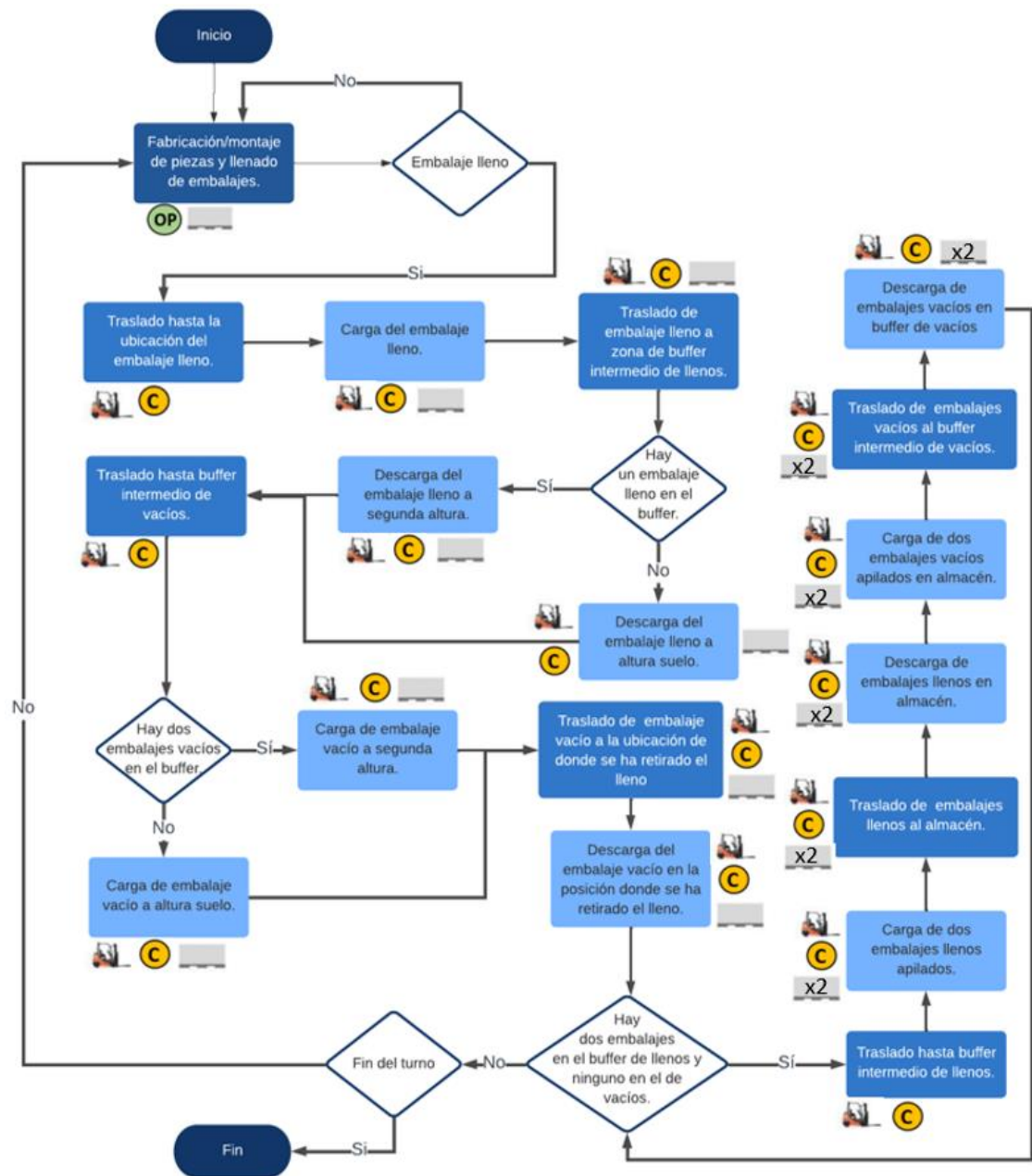
Esquema 1. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino almacén (situación inicial).
Fuente: Elaboración propia.

▪ **Operativa 2: retirada-suministro de embalajes con destino almacén y flejado intermedio.**



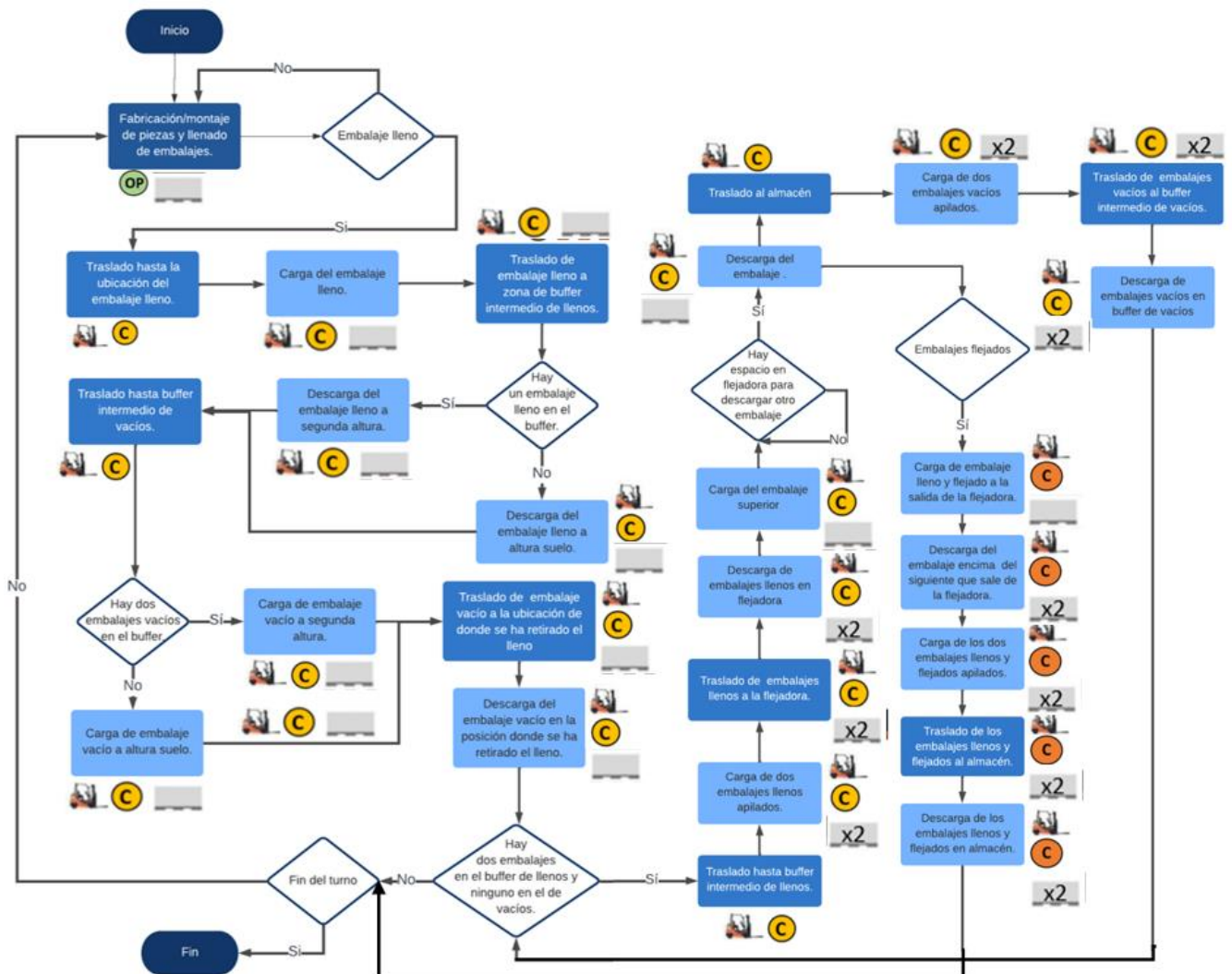
Esquema 2. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino almacén y flejado intermedio (situación inicial).
 Fuente: Elaboración propia.

▪ **Operativa 3: retirada-suministro de embalajes con destino almacén y zona de buffer intermedia.**



Esquema 3. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino almacén y zona de buffer intermedia (situación inicial).
Fuente: Elaboración propia.

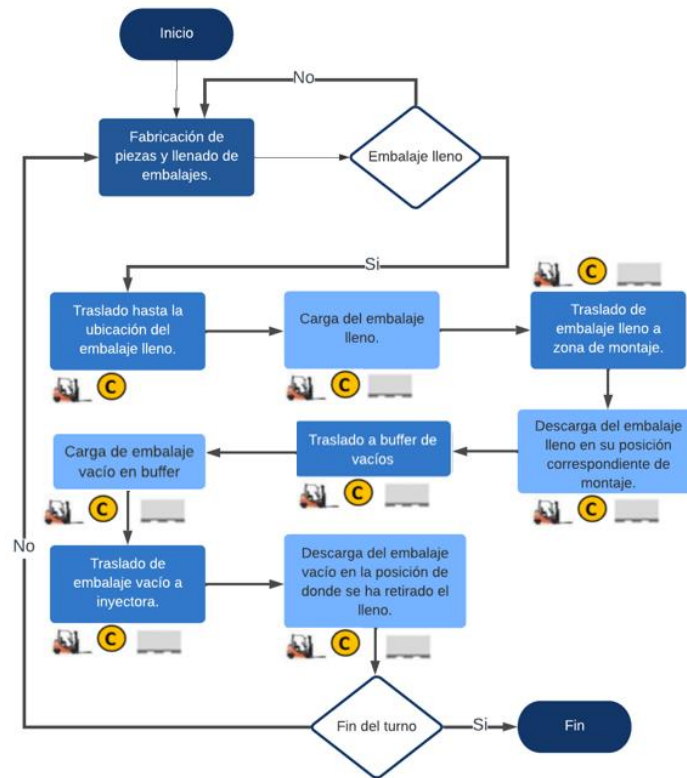
▪ **Operativa 4: retirada-suministro de embalajes con destino almacén, flejado intermedio y zona de buffer intermedia.**



Esquema 4. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino almacén, flejado intermedio y zona de buffer intermedia (situación inicial).

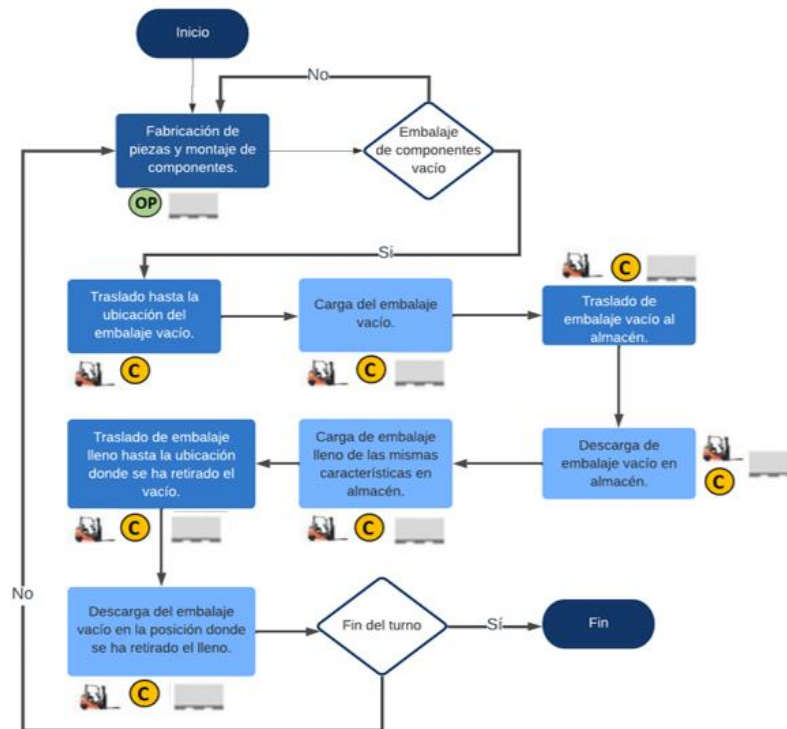
Fuente: Elaboración propia.

▪ **Operativa 5: retirada-suministro de embalajes con destino montaje y buffer intermedio de vacíos de vacíos.**



Esquema 5. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino montaje y buffer intermedio de vacíos (situación inicial).
Fuente: Elaboración propia.

▪ **Operativa 6: retirada-suministro de embalajes de componentes.**



Esquema 6. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes de componentes (situación inicial).
Fuente: Elaboración propia.

Para cada uno de los flujos mostrados, se realizó un estudio de tiempos que puede verse en el [Anexo I](#), a partir del tiempo estimado de cada una de las acciones que tienen que realizar los carretilleros y en función de las diferentes distancias de los traslados que realizan, obteniendo los resultados mostrados en la siguiente tabla.

Operativa	Descripción	Tiempo entre retirada-suministro [seg]
1	Retirada-suministro de embalajes con destino almacén	$220 + A$
2	Retirada-suministro de embalajes con destino almacén y flejado intermedio	$220 + 0,5f + 0,4a + 0,5A$
3	Retirada-suministro de embalajes con destino almacén y zona de buffer intermedia	$160 + b$
4	Retirada-suministro de embalajes con destino almacén, flejado intermedio y zona de buffer intermedia	$160 + b$
5	Retirada-suministro de embalajes con destino montaje y buffer intermedio de vacíos	$160 + 0,5M + 0,4b1 + 0,5b2$
6	Retirada-suministro de embalajes de componentes	$220 + A$

Tabla 1. Resultados del estudio de tiempos de la situación inicial (con carretilleros).
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la siguiente tabla se muestra, para cada máquina, el tipo de operativa que puede darse de las descritas anteriormente, y, de todas las casuísticas que pueden darse en cada una de ellas, el menor tiempo que puede darse entre la necesidad de una retirada y suministro de embalaje, calculado a partir de la cadencia de fabricación (piezas/hora) y el número de piezas que admite el embalaje correspondiente. El tiempo estimado entre la retirada y el suministro de embalaje, teniendo en cuenta los tiempos de la [Tabla 1](#) y las distancias reales de cada una de las máquinas, así como los tipos de embalajes que se utilizan en cada una de ellas.

Máquina	Operativa	Mínimo tiempo entre retirada-suministro de embalajes [min]	Distancias [m]		Tiempo estimado entre retirada y suministro [min]	Tipo de embalaje
M01	2	84	f	70	6,11	Corchos y KLT
			a	102		
			A	142		
M02	1	378	A	131	5,85	Corchos
	2	38	f	59	5,93	Caja, Corchos y KLT
			a	102		
A	131					
M03	1	63	A	189	6,82	Contenedor
	2	58	f	98	6,74	KLT
			a	102		
A	189					
M04	2	57	f	51	5,96	Corchos, KLT y Caja
			a	102		
			A	142		
M05	2	44	f	73	6,41	Corchos y KLT
			a	102		
	3	52	A	175	4,68	Carro
M06	2	43	f	107	6,64	Corchos
			a	102		
			A	168		
M07	1	26	A	239	7,65	SZA y Contenedor
	2	20	f	138	7,49	Corchos
			a	102		
A	239					
M08	6	55	A	239	7,65	Contenedor
	1	240	A	250	7,83	Contenedor
			f	148		
2	35	a	102	7,66	Caja	
		A	250			
M09	2	1143	f	34	5,76	KLT
			a	102		
			A	136		
M10	1	40	A	230	7,50	Contenedor
	2	55	f	129	7,34	Corchos
			a	102		
A	230					

M11	1	74	A	83	5,05	Contenedor
	2	14	f	151	7,71	Caja
			a	102		
A	253					
M12	1	21	A	102	5,37	Contenedor largo
	2	128	f	3	5,22	Caja
			a	102		
A	102					
M13	1	27	A	95	5,25	Contenedor
M14	1	50	A	209	7,15	Caja
	2	120	f	108	6,99	Corchos y KLT
			a	102		
A	209					
M15	1	81	A	203	7,05	Contenedor
	2	82	f	102	6,89	Corchos, Caja y KLT
			a	102		
A	203					
M16	2	22	f	107	6,64	Corchos
			a	102		
			A	168		
M17	6	1542	A	107	5,45	Caja
M18	4	60	b	13	2,88	Corchos
M19	1	27	A	107	5,45	Contenedor
	2	54	f	44	5,61	Corchos
			a	102		
	A	107				
6	145	A	107	5,45	Bandeja	
M20	2	36	f	67	6,05	Corchos
			a	102		
	A	137				
6	230	A	137	5,95	Caja	
M21	1	9	A	127	5,78	Jaula
	6	33			3,67	Caja y Contenedor
M22	1	9	A	70	4,83	Jaula
	6	33			3,67	Caja y Contenedor
M23	1	24	A	65	4,75	Contenedor largo
	2	24	f	121	5,90	Corchos
			a	102		
	A	65				
6	183	A	65	4,75	Contenedor	
M24	2	19	f	70	5,55	Corchos
			a	102		
			A	74		
M25	5	93	M	214	6,22	Carro
			b1	7		
			b2	207		
M26	3	46	b	25	3,08	Contenedor
M27	2	37	f	82	5,55	Corchos
			a	102		
			A	62		

Tabla 2. Características iniciales de las diferentes operativas de cada una de las máquinas.

Fuente: Elaboración propia.

5. Entorno tecnológico. Análisis y selección del tipo de vehículo a utilizar.

La tecnología ha evolucionado mucho en los últimos años y continúa avanzando, por lo que las empresas y fábricas deben evolucionar al mismo ritmo para seguir siendo competitivas.

Uno de los mayores avances tecnológicos desarrollados en los últimos años han sido los **vehículos industriales autónomos**. Se trata de vehículos que **no tienen la necesidad de intervención humana directa en su funcionamiento**, capaces de realizar el traslado de carros o contenedores dentro de la fábrica de un lado a otro, asemejándose al arrastre de un carro por una persona o el traslado de un contenedor mediante una carretilla.

En este apartado se va a detallar información acerca de esta tecnología, los tipos existentes en el mercado y sus ventajas e inconvenientes, para posteriormente realizar un estudio de las características de cada uno de ellos, seleccionando finalmente el tipo más adecuado para los flujos a automatizar, en función de unos criterios técnicos, operacionales y estratégicos.

5.1. Vehículos industriales autónomos.

“Los vehículos de guiado automático o AGV son, en pocas palabras, **vehículos que no precisan de conductor para desarrollar la actividad para la que fueron concebidos**, el transporte de mercancía puntual en las industrias”. [2]

En cuanto a su **método de navegación**, la mayoría de los vehículos autónomos que se han utilizado en los últimos años en las industrias son los llamados **AGV** (Autonomous Guided Vehicles), los cuales necesitan el montaje de una **infraestructura previa en el entorno que les permita localizarse y moverse**, como puede ser el cableado, la cinta guía o cinta reflectante. Sin embargo, han ido evolucionando hacia robots con un mayor grado de flexibilidad y autonomía, los conocidos como **AIV** (Autonomous Intelligent Vehicles) o **AMR** (Autonomous Mobile Robots), diferenciándose de los anteriores en que **pueden navegar de modo natural sin necesidad de sistemas físicos de guiado**.

Además, habrá que tener en cuenta también su **método de carga y traslado**. Los que se han utilizado en los últimos años permitían el **arrastre de la carga acoplada detrás o encima del vehículo** lo cual limita el tipo de carga que se puede mover o la operativa que pueden realizar, sin embargo, en los últimos años se han desarrollado **vehículos capaces de elevar la carga**, asemejándose a las carretillas utilizadas para el traslado y apilado de pallets.

Las siguientes tablas muestran una comparativa de los tipos existentes en la actualidad, pudiendo ver las ventajas, inconvenientes y aplicaciones de cada uno ellos. Se puede ver información ampliada en el [Anexo II](#).

Tipo de navegación		Acciones antes de implantación	Método de guiado	Ventajas	Inconvenientes
Filoguiado (AGV)	Cableado	Cortar ranura en el suelo colocando un cable debajo de la superficie.	Vástago conectado al hilo o inducción entre campo magnético generado en el hilo y recibido por dos bobinas integradas en el AGV.	-Sistema preciso	-Menor flexibilidad en comparación a otros sistemas por la limitación de la previa instalación del hilo.
	Cinta guía	Colocar cinta superficial, magnética o de color, pegada al suelo.	Por magnetismo o reconocimiento de color.	-La cinta se puede quitar y reubicar	-No debe utilizarse en áreas de mucho tráfico ya que puede dañarse o ensuciarse. -Método menos preciso que el cableado.
Navegación de objetivo láser (LGV)	Láser pulsado	Montaje de cinta reflectante en posiciones fijas como paredes o postes.	Un transmisor y un receptor láser giratorios instalados en el vehículo rebotan en los reflectores colocados a su misma altura y a lo largo del recorrido deseado para el vehículo.	-Instalación rápida y no conlleva gastos de mantenimiento. -Láser modulado mayor alcance y precisión que el pulsado.	- Tecnología de alto coste.
	Láser modulado				
Navegación inercial o giroscópica (IGV)		Perforaciones en el suelo de 12 mm de diámetro y 20 mm de profundidad para la instalación de discos magnéticos.	Un giroscopio instalado en el vehículo detecta cambios en la dirección del vehículo y los corrige para mantener al IGV en su camino.	-Flexibilidad y reducido coste de re-configuración. -Puede funcionar en pasillos estrechos y temperaturas extremas.	-Tecnología de alto coste. - Limitación de la previa instalación de los discos.
Navegación natural	AMR	Pasear al vehículo manualmente por el entorno para crear un mapa 2D de este, establecer las zonas de trabajo, diseñar las rutas y programar las acciones que debe realizar.	Lectura continua del entorno para estimar su posición.	-No necesita la instalación de ningún elemento externo. -Son los mejores en cuanto a flexibilidad y precisión.	-Menor flexibilidad que el AIV al no ser capaz de esquivar obstáculos de forma autónoma, si encuentra un obstáculo detiene su movimiento hasta que el obstáculo desaparece. -Son necesarios algoritmos más potentes y complejos, por lo que son menos económicos que los AMR.
	AIV	Pasear al vehículo manualmente por el entorno para crear un mapa 2D de este, establecer las zonas de trabajo y programar las acciones que debe realizar.			

Tabla 3. Comparación de los tipos de vehículos industriales autónomos en función de su tipo de navegación.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de vehículo	Capacidad	Tipo de traslado	Aplicaciones
Remolque	0,9-70 ton	-Enganche accionado -Plataformas elevables o abatibles, rodillos monitorizados o correas	-Varias unidades de carga. -Circuitos automatizados con ubicaciones de paradas predeterminadas y en el transporte de materiales en distancias largas.
Carga unitaria	0,1-3 ton	-Carga en su parte superior con unión mediante gancho o Pin-hook	-Una sola unidad de carga como puede ser un pallet o un contenedor. -Carga con ruedas. -Sistemas de almacenamiento y distribución, trayectorias cortas.
Transpaleta	1-2,5 ton	-Carga en la parte superior de las uñas a la altura deseada. -Capaz de apilar y desapilar.	-Traslado de hasta 3 unidades de carga apiladas. -Embalajes adaptados para su carga mediante transpaleta. -Ubicaciones en altura de hasta 13 m.
Híbridos	>70 ton	-Adaptación de un camión estándar a un camión autónomo.	-Carga de remolques o movimientos de materiales alrededor de los almacenes.
Carga ligera	Hasta 250 kg	-Carga en su parte superior.	-Una sola unidad de carga como puede ser un pallet o un contenedor con productos. -Áreas de espacio limitado.
Línea de ensamblaje	Hasta 250 kg	-Carga en su parte superior.	-Adaptación del vehículo de carga ligera para aplicaciones de procesos de ensamblaje en serie.

Tabla 4. Comparación de los tipos de vehículos industriales autónomos en función de su método de carga y transporte.

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Análisis y selección.

Una vez conocidas la lógica del proceso, las características técnicas de este y todas las alternativas tecnológicas que existen para dar solución a la problemática que se plantea, en primer lugar, se van a fijar los **criterios técnicos, operacionales y estratégicos** a tener en cuenta para la **selección de la tecnología adecuada**. Posteriormente se establecerán **prioridades** entre ellos mediante la **metodología AHP** (Analytic Hierarchy Process) y se **valorarán las diferentes opciones en función de cada uno de los criterios** para finalmente poder **seleccionar el tipo de vehículo que se utilizará para la automatización** de las operativas descritas.

CRITERIOS TÉCNICOS	
CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Seguridad	La seguridad de las personas que se mueven por la fábrica es uno de los criterios más importantes a tener en cuenta, por ello se valorará positivamente en la selección una mayor cantidad de sistemas de seguridad instalados en los robots y su eficacia.
Método de posicionamiento de la carga	La forma en que el vehículo va a trasladar la carga va a jugar un papel muy importante dado que son distintos tipos de embalaje los que se van a utilizar, y el vehículo debe adaptarse a todos ellos con los mínimos cambios en su diseño y posicionamiento.
Área	El área del robot influye en su movimiento por las zonas de la planta. Muchos de los pasillos de la fábrica son estrechos por lo que es algo que se debe tener en cuenta para la selección del vehículo. Además, su tamaño también influye en el tamaño de la zona de almacenamiento de dichos robots cuando estén en desuso, por lo que se valorará positivamente un menor tamaño del robot.
Radio de giro	Al igual que el área, el radio de giro del robot también influye en su movimiento por los pasillos y lugares de la planta. A mayor radio de giro, el robot necesita más espacio para sus maniobras, por lo tanto, interesa un radio de giro lo menor posible, de forma que pueda adaptarse a todos los giros que deba realizar en la fábrica.

Tabla 5. Criterios técnicos a tener en cuenta en la fabricación del vehículo a utilizar.

Fuente: Elaboración propia.

CRITERIOS OPERACIONALES	
CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Autonomía	Una mayor autonomía de los robots se traduce en un menor número de robots necesarios. Dentro de la autonomía del vehículo se considera la forma de recarga de batería, así como su duración, seleccionando solo aquellos con una duración de su batería mayor a 4 horas. También se considera la cantidad de acciones en las que el vehículo necesita de un humano para un funcionamiento correcto.
Velocidad	El tiempo entre diferentes movimientos dentro de la planta debe ser suficiente para que el robot realice dichos movimientos. A mayor velocidad del vehículo, más tiempo tendrá el robot para realizar otros movimientos, lo cual también reducirá el número de vehículos necesarios.
Capacidad	La carga máxima que va a tener que trasladar el vehículo es de unos 800 kg, sin embargo, una mayor holgura entre la carga que debe trasladar y su capacidad máxima hace que el nivel de exigencia sobre él sea menor, lo cual aumentará su vida útil. Por lo tanto, se valorará positivamente una mayor capacidad de carga.
Precisión	Para asegurar el traslado de las cargas, el enganche y desenganche de estas con el robot debe ser correcto. Para ello, la precisión de posicionamiento del robot en las zonas de recogida y entrega de las cargas son importantes. Se valorará positivamente una mayor precisión.
Movimientos	En función de la tipología de vehículo seleccionado, tendrá más o menos posibilidad de movimientos. Muchas de las operativas actuales requieren la carga y descarga de pallets y contenedores en altura, por lo que se valorará positivamente que el vehículo sea capaz de realizar dichos movimientos sin tener que modificar las operativas.
Comunicación	La comunicación de los robots con el servidor que controla la flota debe ser adecuada, de manera que sea capaz de enviar al robot más adecuado para una actividad en función de su batería y cercanía al lugar de dicha actividad. Además, también es importante la comunicación del robot con los elementos del entorno, de manera que sea capaz de detenerse ante un obstáculo o incluso esquivarlo, emitir un mensaje acústico para que las personas que lo oigan den solución a cualquier posible problema que pueda surgir y poder tener conexión con otras máquinas (como el cobot) con objeto de recibir o enviar señales.

Tabla 6. Criterios operacionales a tener en cuenta en la fabricación del vehículo a utilizar.

Fuente: Elaboración propia.

CRITERIOS ESTRATÉGICOS	
CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Precio	El desarrollo de un tipo u otro de AGV conllevará más o menos costes, por lo tanto, se valorará positivamente aquel que suponga menores costes de fabricación y programación.
Modificación de infraestructura	Según el tipo de navegación que utiliza el robot, se requieren más o menos modificaciones en la planta. El vehículo seleccionado debe permitir su integración con el menor número de modificaciones en planta y en los carros y contenedores utilizados.
Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	Frente a variaciones en la demanda de carros y contenedores, la frecuencia de los movimientos que deberán realizar los vehículos puede aumentar o disminuir, por lo que se valorará positivamente su capacidad para adaptarse a estas variaciones sin restringir la capacidad productiva de la planta.
Flexibilidad frente a modificaciones del layout	A medio o largo plazo puede haber modificaciones en el layout de la planta, bien por instalación de nuevas máquinas o bien por el movimiento de elementos de la fábrica de un lugar a otro, por lo que se valorará positivamente la facilidad y bajo coste de estas modificaciones en la programación del robot, así como su adaptación a dichos cambios sin necesidad de realizar un cambio en su programación.

Tabla 7. Criterios estratégicos a tener en cuenta en la fabricación del vehículo a utilizar.

Fuente: Elaboración propia.

Tras la aplicación del método AHP, las **prioridades obtenidas** para cada uno de los criterios son las que se muestran en la siguiente tabla. En el [Anexo III](#) se detalla la aplicación de dicho método.

Criterios	Prioridades	Subcriterios	Prioridades locales	Prioridades globales
Criterios técnicos	58%	Seguridad	53%	30,54%
		Método de posicionamiento de la carga	30%	17,49%
		Área	11%	6,42%
		Radio de giro	6%	3,68%
Criterios operacionales	31%	Autonomía	38%	11,77%
		Velocidad	4%	1,13%
		Capacidad	7%	2,16%
		Precisión	16%	5,04%
		Movimientos	24%	7,54%
		Comunicación	11%	3,27%
		Precio	47%	5,10%
Criterios estratégicos	11%	Modificación de infraestructura	10%	1,05%
		Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	28%	3,04%
		Flexibilidad frente a modificaciones del layout	16%	1,77%

Tabla 8. Prioridades obtenidas mediante el método AHP para cada uno de los criterios considerados.
Fuente: Elaboración propia.

Dado que **Moontech tiene su propio fabricante de vehículos autónomos**, la elección en cuanto a tipo de navegación y método de carga y transporte **podrá adaptarse casi por completo a la aplicación en cuestión**. Por tanto, para la selección del sistema más adecuado se va a realizar una **valoración de los diferentes tipos de vehículos existentes en el mercado**, tanto por su **método de navegación** como por su **método de carga y transporte**. La escala utilizada y la valoración de los diferentes tipos de vehículos en función de los diferentes criterios se muestra en el [Anexo IV](#), y los **resultados obtenidos aplicando las prioridades globales** de la [Tabla 8](#), son los siguientes.

SUBCRITERIO	Filoguiado	Objetivo láser	Inercial	Natural (AMR)	Natural (AIV)	Remolque	Carga unitaria	Transpaleta	Híbrido	Carga ligera	Línea de ensamblaje
Seguridad	1,222	0,916	0,611	1,527	1,527	1,222	1,527	1,527	0,916	1,527	1,527
Método de posicionamiento de la carga	0,350	0,525	0,525	0,874	0,874	0,700	0,525	0,874	0,525	0,350	0,175
Área	0,257	0,321	0,128	0,192	0,192	0,064	0,192	0,128	0,064	0,257	0,064
Radio de giro	0,110	0,147	0,147	0,184	0,184	0,074	0,110	0,147	0,037	0,184	0,074
Autonomía	0,353	0,471	0,353	0,471	0,588	0,235	0,353	0,471	0,235	0,353	0,588
Velocidad	0,045	0,034	0,023	0,011	0,011	0,056	0,023	0,011	0,056	0,034	0,045
Capacidad	0,043	0,065	0,087	0,108	0,108	0,087	0,043	0,043	0,108	0,022	0,065
Precisión	0,151	0,252	0,202	0,202	0,101	0,202	0,252	0,202	0,151	0,252	0,252
Movimientos	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,377	0,075	0,075	0,075
Comunicación	0,065	0,098	0,033	0,164	0,164	0,098	0,098	0,098	0,164	0,065	0,131
Precio	0,255	0,204	0,153	0,102	0,051	0,153	0,153	0,204	0,102	0,255	0,051
Modificación de infraestructura	0,021	0,032	0,011	0,053	0,053	0,042	0,042	0,053	0,032	0,053	0,011
Flexibilidad frente a cambios en la frecuencia de movimientos	0,030	0,061	0,091	0,091	0,121	0,091	0,061	0,091	0,121	0,091	0,030
Flexibilidad frente a modificaciones en el Layout	0,018	0,035	0,053	0,071	0,071	0,053	0,035	0,071	0,071	0,088	0,018
TOTAL	2,996	3,236	2,491	4,125	4,121	3,152	3,490	4,298	2,658	3,606	3,106

Tabla 9. Resultados obtenidos en la valoración y suma de puntos para la selección de la mejor alternativa.
Fuente: Elaboración propia.

Así pues, el vehículo seleccionado es un **AMR**, es decir, un vehículo autónomo capaz de leer de forma continua el entorno a través de un sistema de visión, mapeando el entorno en 2D, y creando un mapa virtual que le permite conocer su posición en todo momento. Se trata de uno de los tipos de vehículos industriales autónomos más flexibles del mercado, ya que utiliza **tecnología SLAM** para moverse por el entorno. En el [Anexo V](#) se puede ver más información acerca de esta tecnología y sus ventajas.

En cuanto a su método de carga y traslado, será un vehículo tipo **transpaleta**, siendo la tecnología que más se adapta a las necesidades de la fábrica objeto de automatización, dado que, como se ha visto, es necesario que **se adapte a varios tipos de carga**, y que **pueda coger y ubicar dicha carga en altura**. Utilizando este tipo de vehículo, se podrá seguir trabajando con los mismos embalajes utilizados hasta ahora, sin necesidad de realizar ninguna modificación en la infraestructura ya existente. Además, este vehículo es capaz de realizar **reconocimiento de pallets** para una mayor precisión en la carga de estos.

Así pues, tras conocer el tipo y necesidades del vehículo, Moontech propuso a la empresa la implantación del vehículo autónomo que se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 3. Transpaletas AMR de Moontech.

Se trata de un **AMR tipo transpaleta** que cuenta con un **software propio** para el mapeado, diseño de rutas, programación de acciones y ajuste de parámetros en función de diferentes factores del entorno (**Roboshop**), además de contar también con un software propio para la programación de tareas y la gestión de flotas (**RDS+Core**).

En cuanto a **seguridad**, este AMR lleva instalados una serie de **sensores, cámaras y láseres** que aseguran su movimiento seguro por la fábrica. En la siguiente imagen se puede ver el modelo del robot con la identificación de todos ellos, y en la tabla X la descripción de la función de cada uno de ellos. Además, también cuenta con un **bumper** al final de cada una de sus uñas y tres **botones de paro de emergencia**, dos en los laterales de la carcasa y uno en su parte delantera.

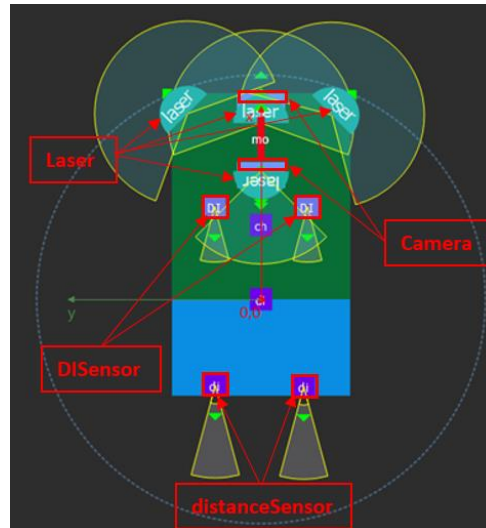


Ilustración 4. Modelo del robot e identificación de los elementos de seguridad.
Fuente: Elaboración propia.

Elemento de seguridad	Función
DISensor	Sensores posicionados tras unas pletinas accionadas durante la carga de un embalaje, de forma que detectan que el robot tiene un embalaje sobre sus uñas.
distanceSensor	Sensores de la parte delantera de las uñas, que se encargan de medir la distancia entre el robot y el embalaje objeto de carga, con objeto de comprobar que su posición es adecuada y no hay ningún obstáculo que lo impida.
Laser	Son los encargados de realizar la detección de obstáculos, tanto en la parte delantera y lateral del robot como en su parte trasera.
Camera	Aplica visión artificial para identificar los elementos del entorno a partir de los cuales se crea el mapa del entorno, y realiza el reconocimiento de pallets en caso de que se aplique.
Bumper	Salientes de seguridad en la parte delantera de las uñas, que, en caso de ser accionados, por ejemplo, por el choque de las uñas con un obstáculo, provocará un paro de emergencia en el robot, que requerirá intervención humana.
Botones de emergencia	Botones de accionamiento manual, para evitar posibles colisiones durante la realización de pruebas, por ejemplo.

Tabla 10. Descripción de los elementos de seguridad del robot.
Fuente: Elaboración propia.

Al contrario que las carretillas convencionales manejadas por humanos, **la parte frontal de este vehículo es la parte sin uñas**, es decir, **el robot traslada la carga en su parte trasera**, lo que le brinda una **mayor seguridad** frente a accidentes por choque, además de que los sistemas láser de detección de obstáculos son lo suficientemente avanzados como para que se produzca cualquier accidente de este tipo.

En cuanto a sus **especificaciones técnicas**, este robot es capaz de transportar una **carga máxima de 1,4 toneladas**, a una **velocidad máxima de 1,29 m/s** y elevar dicha carga a una **altura máxima de 3 metros**. Cuenta con una **autonomía de 16 horas**, es decir, dos turnos de trabajo y para la **recarga de su batería entre un 20 y un 80%** se necesitan aproximadamente **3 horas**, es decir, un **20% de su autonomía**. Además, gracias a que incorpora una cámara de visión artificial, este vehículo es capaz de realizar **reconocimiento** de embalajes para recolocarse respecto a la posición fijada en caso de que fuera necesario. En el [Anexo VI](#) se puede ver con mayor detalle la ficha técnica de este vehículo.

Actualmente, su precio de venta ronda los **70 mil euros**, valor que puede variar en función del número de robots necesarios y de la complejidad del proyecto.

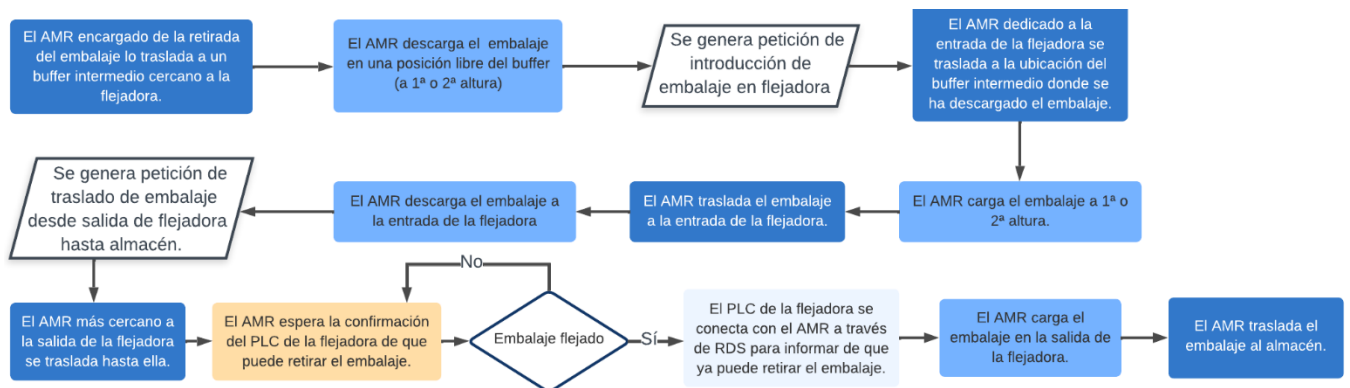
6. Solución propuesta. Adaptación de las operativas.

Tras el estudio de situación intralogística actual y una vez conocidas las especificaciones técnicas de los vehículos que se utilizarán, se va a analizar cuál es la mejor solución para automatizar todos o la mayor parte de los movimientos internos de la fábrica.

6.1. Descripción y especificaciones de la nueva operativa.

En la descripción de los diferentes tipos de operativas, se ha visto que las acciones principales que deben automatizarse son la **retirada de embalajes** de los puestos de fabricación/montaje y traslado al almacén, flejadora o buffers intermedios, el **suministro de embalajes** desde el almacén o buffers intermedios hasta los puestos de fabricación/montaje, y el **traslado de embalajes** desde la **salida de la flejadora** hasta el **almacén**.

Para las **operativas con destino flejadora**, se proponía inicialmente el siguiente flujo:



Esquema 7. Flujo inicial propuesto para la adaptación de las operativas con destino flejadora.

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, dado que la **flejadora se encontraba en una de las naves principales**, su **entrada y salida se encontraba en pasillos principales** por los cuales habrá circulación de otros AMR, por lo que tener un AMR dedicado a la entrada de la flejadora y las esperas de los AMR que realizasen el traslado de los embalajes flejados al almacén, podrían provocar **atascos**, y, en definitiva, **tiempos muertos que podrían resultar en cuellos de botella en las líneas**. Por ello, el interés común de Moontech y de la empresa de facilitar una primera fase de la automatización de los flujos internos de la fábrica, llevó a la **decisión de mover la flejadora al almacén y mantener un carretillero en almacén para la recogida de embalajes flejados y su posterior ubicación en el almacén**.



Ilustración 5. Cambio de ubicación de la flejadora.

Fuente: Elaboración propia.

Esto, además de **facilitar el tráfico**, **elimina la necesidad de buffers intermedios para la flejadora**. Como ya se ha comentado anteriormente, tener productos acumulados sin usar es desperdiciar el espacio que éstos ocupan, por lo que interesa acumular el mínimo material posible.

Así pues, con esta modificación, las **soluciones que se proponen** son:

- **Solución 1:** utilizar un AMR dedicado para cada uno de los circuitos, que realice todas las acciones necesarias desde la retirada de un embalaje hasta el suministro de otro de las mismas características.
- **Solución 2:** utilizar un AMR para las acciones de retirada y otro para las acciones de suministro.

En la siguiente tabla se muestran los pros y contras de cada una de ellas:

Solución	PROS/CONTRAS	
1	Nº de AMR dedicados en función de las necesidades de cada máquina → Necesidad de tener ubicaciones de “parking” cercanas a cada puesto de fabricación/montaje → Mayor espacio necesario → Modificación del layout	Red
	Programación y gestión más fácil (menor número de conexiones necesarias)	Green
	Menor tiempo de respuesta (tiempo que pasa entre que el operario realiza una petición y un AMR acude para realizar la retirada)	Green
	Mayor tiempo para la sustitución de un embalaje (el AMR realiza el suministro cuando ha terminado la retirada) → Mayor nº de AMR necesarios	Red
	Pueden ser necesarios buffers intermedios en alguna de las operativas para cumplir con los tiempos.	Red
	Operativas con un mayor nº de acciones necesarias o recorridos más largos → Unos AMR con mayor % ocupación que otros → Menor duración de su batería y menor tiempo para su recarga	Red
2	El AMR más cercano a la máquina donde se ha realizado una petición realiza la retirada y el AMR más cercano al almacén realiza el suministro → Ubicaciones de parking repartidas por zonas	Green
	Programación y gestión más compleja (mayor número de conexiones)	Red
	Mayor tiempo de respuesta en caso de que no haya un AMR cercano a la máquina en el momento de la petición	Red
	Menor tiempo para la sustitución de un embalaje (Acciones de retirada y suministro paralelas en el tiempo) → Menor nº de AMR necesarios	Green
	Se eliminará la necesidad de buffer intermedios en casi todas las operativas	Green
	Operativas con un nº de acciones similar y repartición entre los distintos AMR → Todos ellos tendrán un % de ocupación similar	Green

Tabla 11. PROS y CONTRAS de cada una de las soluciones propuestas.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver, la **solución 2** tiene un mayor número de PROS, por lo tanto, será esta la que se seleccione, utilizando **AMR dedicados** a un puesto o grupo de puestos en concreto solo en aquellos circuitos que fuese estrictamente necesario por una **necesidad de utilizar AMR con ciertas modificaciones** debidas al tipo de embalaje, como es el caso de las operativas que utilizan **jaulas o contenedores largos** (M12, M21, M22 y M23), los cuales requieren una **ampliación de la longitud de las uñas** del AMR, o por **tiempos de llenado muy bajos** que supongan retiradas y suministros cada poco tiempo.

Por otro lado, como ya se ha comentado, el vehículo seleccionado tiene la capacidad de realizar **reconocimiento de pallets**, sin embargo, esto supondría un tiempo de carga de **20 segundos adicionales** respecto a no utilizarlo, además, implicaría un **mayor trabajo de integración** para Moontech, ya que tendría que introducir las dimensiones de todos los tipos de embalajes en el sistema, lo que supondría un **mayor coste para la empresa** de horas de trabajo de implantación, por lo tanto, la empresa decidió no hacerlo, priorizando asegurar el posicionamiento de los embalajes siempre en la misma posición fija de carga en una misma posición. Para facilitar esto en las ubicaciones del **almacén**, la empresa realizó una reorganización de este, dejando una serie de **zonas dedicadas** con la siguiente disposición:

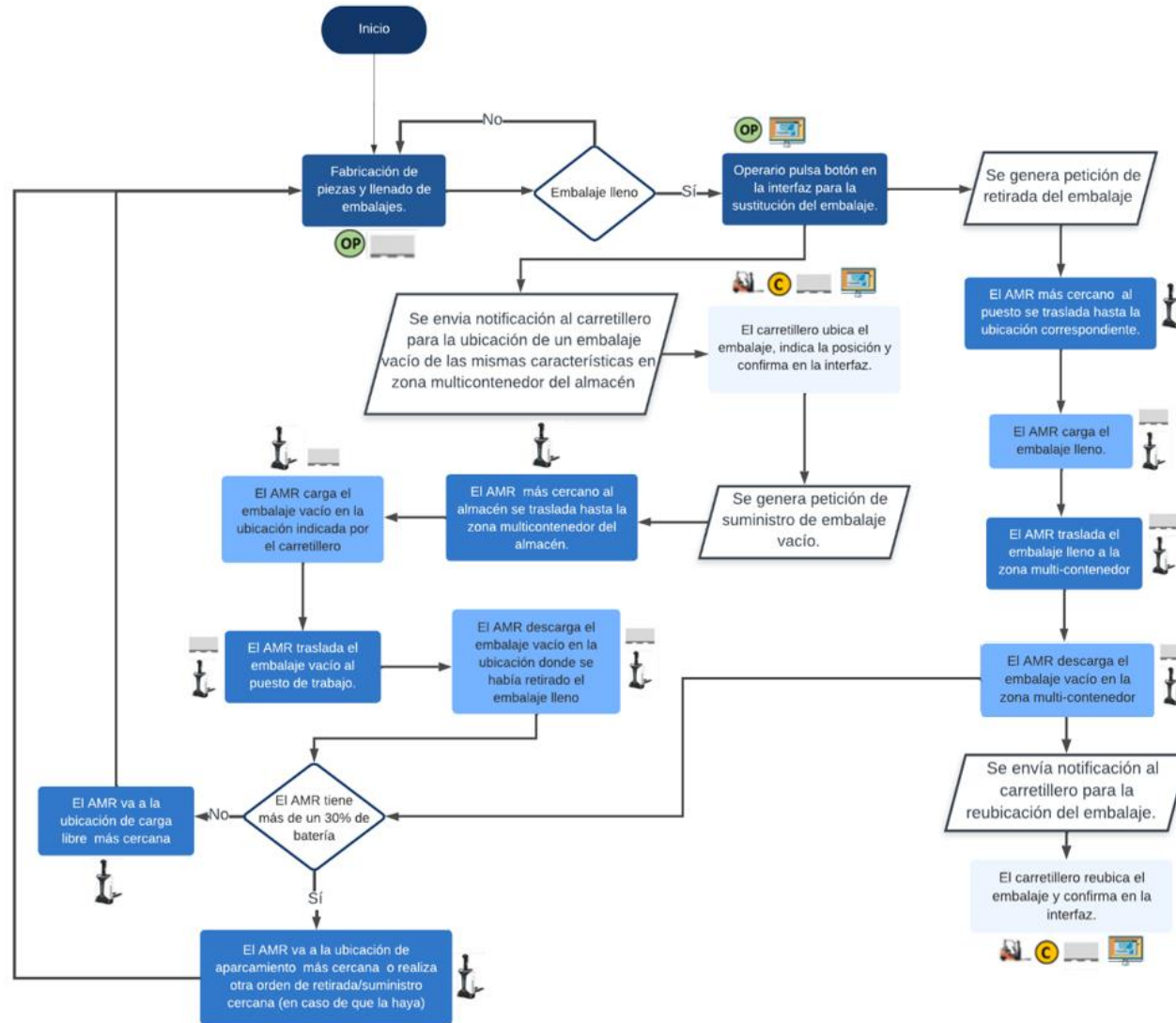
Zona	Nº posiciones	Tipo de embalajes	Peculiaridades
Flejadora	1	Caja, Corchos y KLT	- La ubicación del embalaje flejado la realiza un carretillero.
Multi-contenedor	9	Todos menos Jaula y Contenedor largo	- El embalaje que se va a suministrar lo ubica previamente un carretillero en una de las posiciones. - Una vez descargado el embalaje que se ha retirado de la máquina, un carretillero lo reubica en el almacén, dejando libre la posición. - Plataformas diseñadas para admitir todo tipo de embalajes y facilitar un correcto posicionamiento (posiciones fijas).
Posiciones dedicadas	4 (2 y 2)	Jaula y Contenedor largo	- 2 posiciones para cada tipo de embalaje (1 para vacíos que se van a suministrar y 1 para llenos que se retiran de la máquina) - La posición de vacíos admite 3 alturas y es un carretillero el que las repone cuando no quedan. - Plataformas diseñadas para soportar cada tipo de embalaje.

Tabla 12. Disposición de las zonas del almacén donde los AMR realizarán la carga y descarga de embalajes.
Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, **Moontech** se encargará de todas las acciones necesarias para la **gestión de órdenes de retirada y suministro**, mediante el **desarrollo de una interfaz** para los **operarios de producción** y otra interfaz para los **carretilleros del almacén**, además de una **interfaz** para una nueva figura que surgirá tras la automatización, el **pastor**, que se encargará del control de los AMR y actuará como corresponda en caso de haber algún problema. Las características y funcionalidades de estas interfaces se detallarán en el [Apartado 8](#).

De esta forma, los nuevos tipos de operativas que resultan con la implantación de AMR tipo transpaleta son las siguientes:

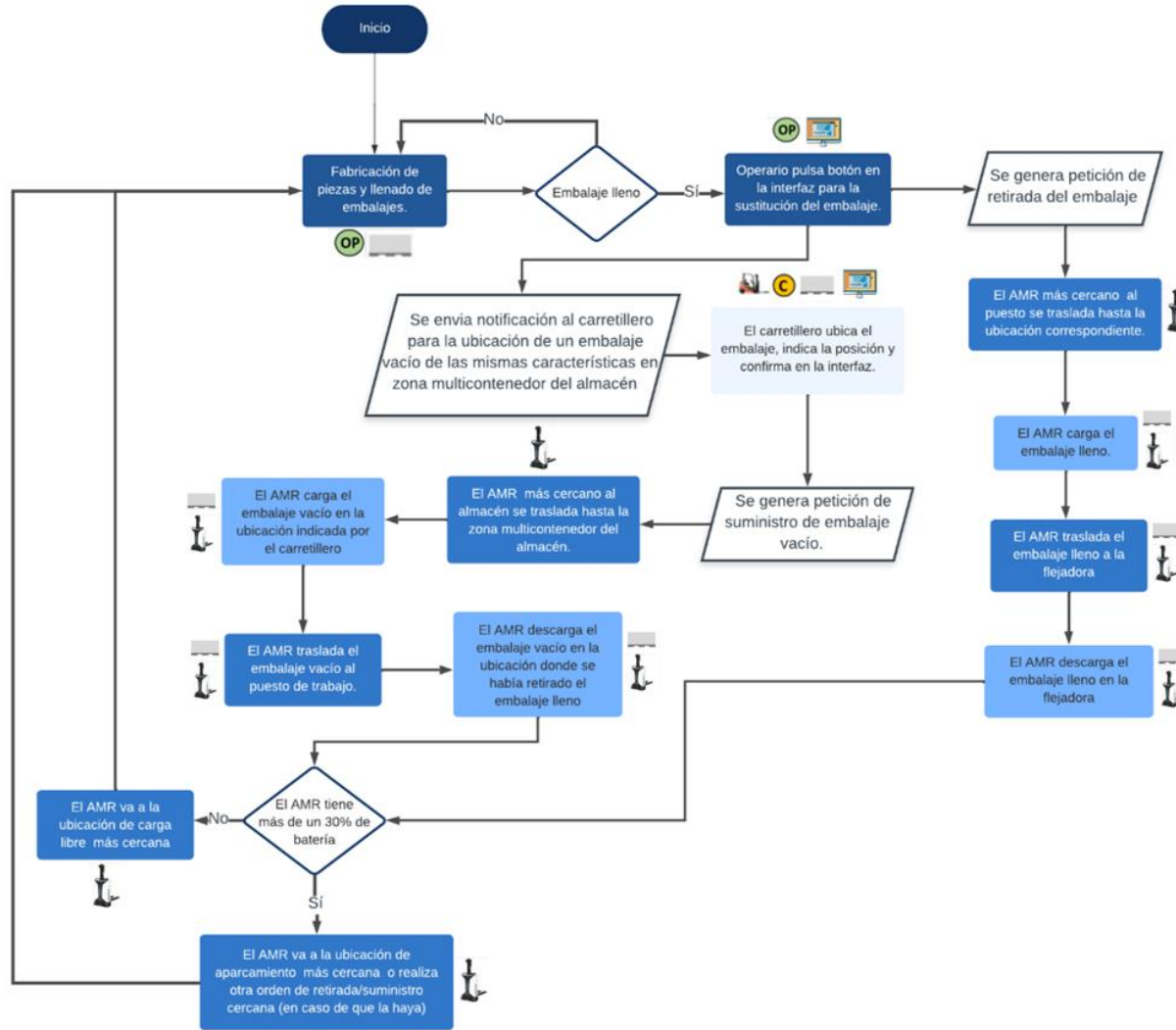
Operativa 2: retirada-suministro de embalajes con destino zona multi-contenedor del almacén.



Esquema 9. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino zona multi-contenedor del almacén (nueva situación).

Fuente: Elaboración propia.

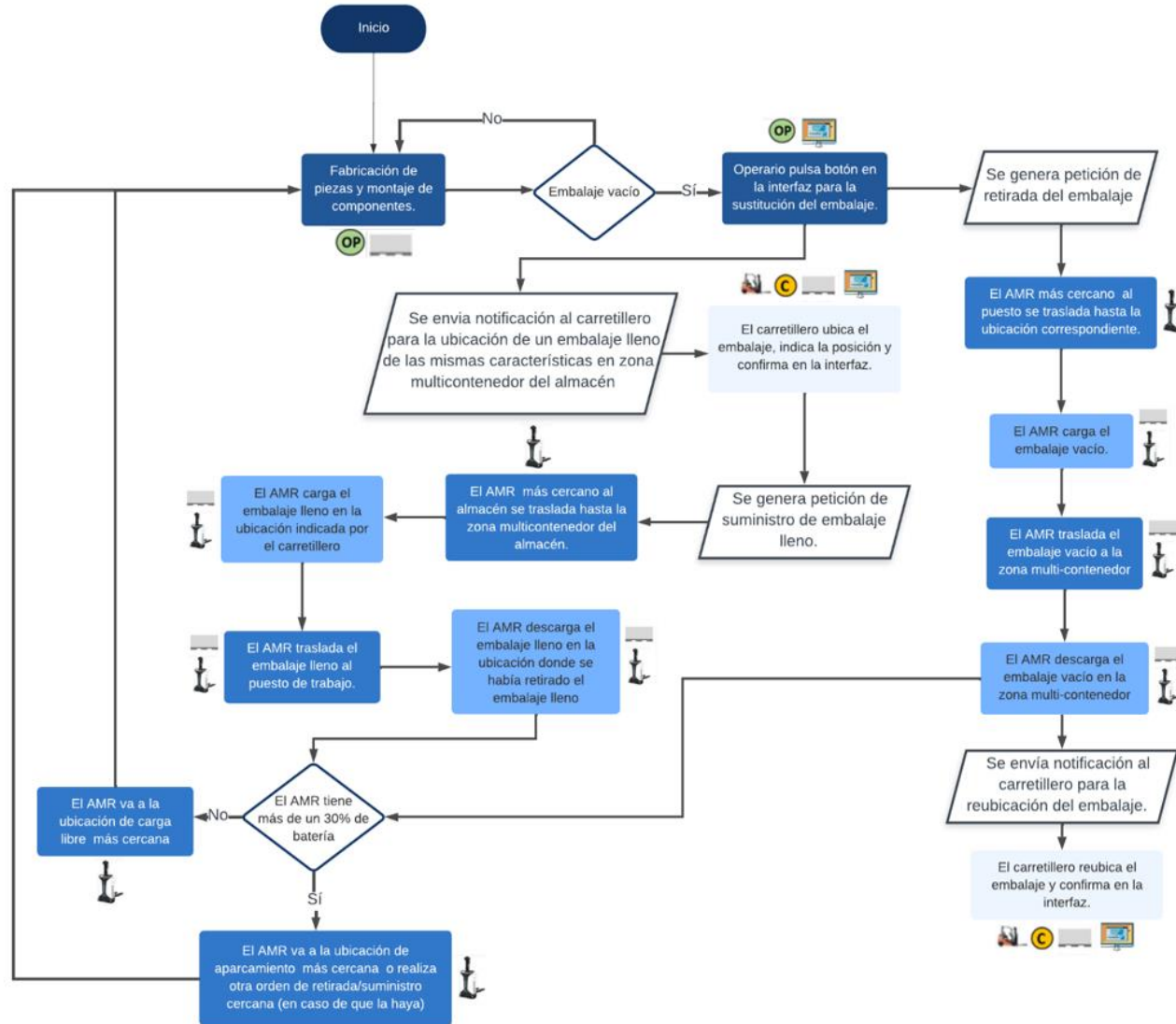
Operativa 3: retirada-suministro de embalajes con destino flejadora.



Esquema 10. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes con destino flejadora (nueva situación).

Fuente: Elaboración propia.

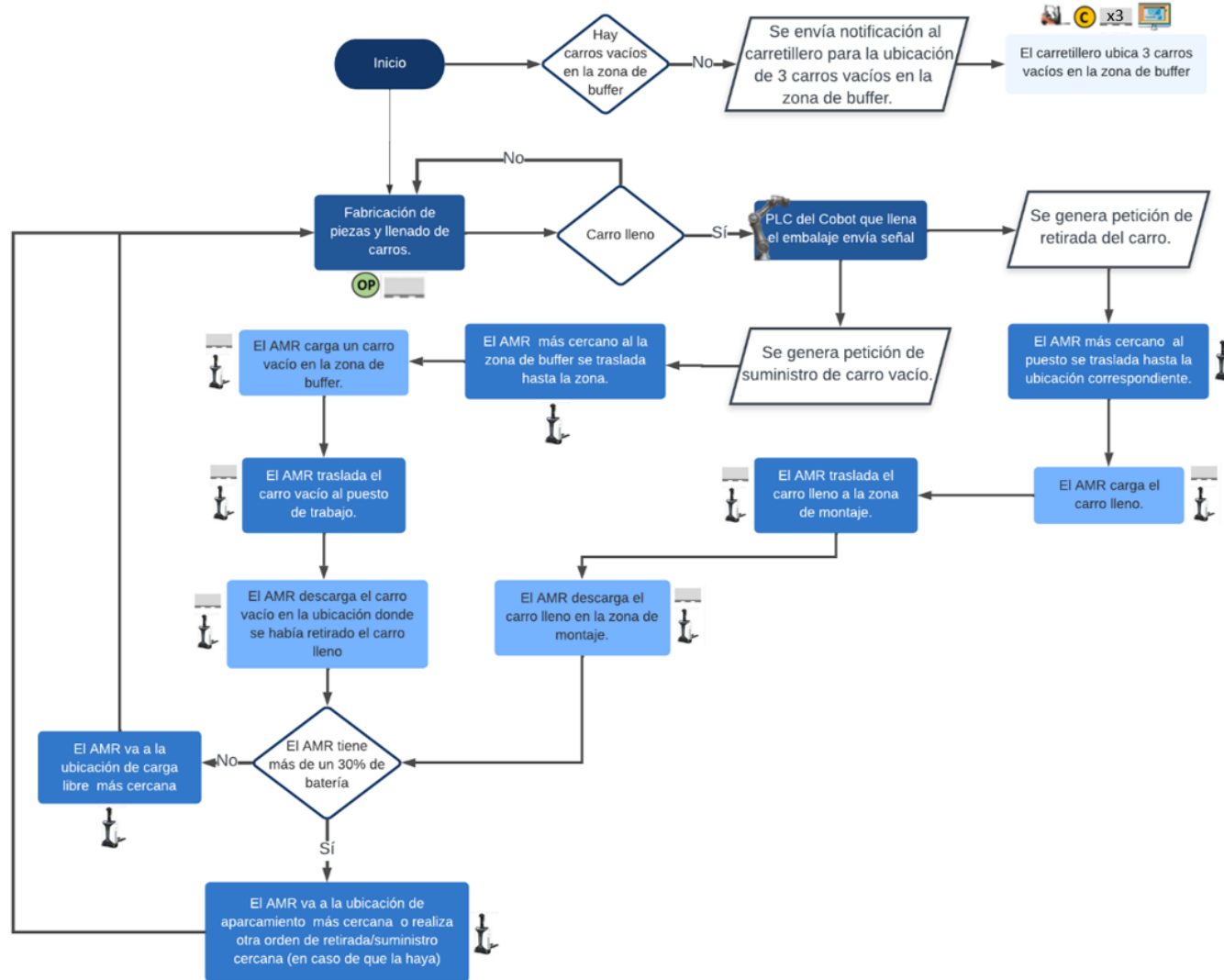
Operativa 4: retirada-suministro de embalajes de componentes.



Esquema 11. Flujograma de la retirada-suministro de embalajes de componentes (nueva situación).

Fuente: Elaboración propia.

Operativa 5: retirada-suministro de embalajes con destino montaje y buffer intermedio de vacíos.



Esquema 12. Flujograma de la retirada-suministro con destino montaje y buffer intermedio de vacíos (nueva situación).
Fuente: Elaboración propia.

Para cada uno de los flujos mostrados, se realizó un nuevo estudio de tiempos que puede verse en el [Anexo VII](#), a partir del tiempo estimado de cada una de las acciones que tienen que realizar los AMR y en función de las diferentes distancias de los traslados que van a realizar, obteniendo los resultados mostrados en la siguiente tabla.

Operativa	Descripción	Tiempo RETIRADA	Tiempo SUMINISTRO	Tiempo entre retirada-suministro [seg]
1	Retirada-suministro de embalajes con destino zona de posiciones dedicadas del almacén	130 + 1,11PD	150 + 1,11PD	150 + 1,11PD
2	Retirada-suministro de embalajes con destino zona multi-contenedor del almacén	130 + 1,11MC	130 + 1,11MC	200 + 1,11MC
3	Retirada-suministro de embalajes con destino flejadora	135 + 1,11F	130 + 1,11MC	200 + 1,11MC
4	Retirada-suministro de embalajes de componentes	130 + 1,11MC	130 + 1,11MC	200 + 1,11MC
5	Retirada-suministro de embalajes con destino montaje y buffer intermedio de vacíos	120 + 1,11M	120 + 1,11b	120 + 1,11b

Tabla 13. Resultados del estudio de tiempos de la nueva situación (con AMR).
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la tabla inferior, se pueden ver **3 bloques diferenciados**, correspondientes a **toma de datos**, **cálculos** y **resultados**. Las consideraciones que se han tenido en cuenta en cada uno de ellos son las siguientes:

- **Bloque 1 (Toma de datos):** Tipo de operativa automática que puede darse en cada máquina, mínimo tiempo disponible para la retirada-suministro de un embalaje tras recibir una petición y nuevas distancias.
- **Bloque 2 (Cálculos):** Tiempos estimados de la retirada, el suministro y el que pasa hasta la sustitución del embalaje, a partir de los resultados mostrados en la [Tabla 13](#) y las nuevas distancias. A cada uno de los tiempos se han añadido 2 minutos tener en cuenta una estimación del tiempo que puede pasar hasta que el AMR llega a cada una de las posiciones de carga.
- **Bloque 3 (Resultados):** diferencia entre el tiempo disponible y el tiempo estimado obtenido, de forma que, si se obtuviese algún tiempo negativo, habría que plantear una solución para esa operativa que redujese el tiempo, y realizar un mayor número de pruebas para asegurar que, en ningún caso, se produjese un paro en la línea de fabricación, y aumento de tiempo que supone la automatización mediante la solución adoptada con respecto a los tiempos iniciales del proceso (con carretilleros) vistos en la [Tabla 2](#).

Máquina	Operativa	Mínimo tiempo entre retirada/suministro de embalajes [min]	Distancias [m]		Tiempo estimado RETIRADA	Tiempo estimado SUMINISTRO	Tiempo estimado entre retirada y suministro [min]	Diferencia tiempo disponible-estimado	Aumento respecto a tiempo con carretilleros																																																																																																																																												
M01	3	84	F	155	7,12	6,80	7,96	76,04	30,33%																																																																																																																																												
			MC	142						M02	2	378	MC	131	6,59	6,59	7,76	370,24	32,64%	3	38	F	144	6,92	6,59	7,76	30,24	30,85%			MC	131	M03	2	63	MC	189	7,67	7,67	8,83	54,17	29,52%	3	58	F	202	7,99	7,67	8,83	49,17	31,06%			MC	189	M04	3	57	F	155	7,12	6,80	7,96	49,04	33,61%	MC	142	M05	3	44	F	188	7,73	7,41	8,57	35,43	33,76%			MC	175	M06	3	43	F	181	7,60	7,28	8,44	34,56	27,18%	MC	168	M07	2	26	MC	200	7,87	7,87	9,04	16,96	18,13%	3	20	F	213	8,19	7,87	9,04	10,96	20,65%			MC	200	M08	4	55	MC	200	7,87	7,87	9,04	45,96	18,13%	2	240	MC	250	8,80	8,80	9,96	230,04	27,24%	M09	3	35	F	263	9,12	8,80	9,96	25,04	30,06%	MC	250	M09	3
M02	2	378	MC	131	6,59	6,59	7,76	370,24	32,64%																																																																																																																																												
	3	38	F	144	6,92	6,59	7,76	30,24	30,85%																																																																																																																																												
		MC	131	M03						2	63	MC	189	7,67	7,67	8,83	54,17	29,52%	3	58	F	202	7,99	7,67	8,83	49,17	31,06%			MC	189	M04	3	57	F	155	7,12	6,80	7,96	49,04	33,61%	MC	142	M05	3	44	F	188	7,73	7,41	8,57	35,43	33,76%			MC	175	M06	3	43	F	181	7,60	7,28	8,44	34,56	27,18%	MC	168	M07	2	26	MC	200	7,87	7,87	9,04	16,96	18,13%	3	20	F	213	8,19	7,87	9,04	10,96	20,65%			MC	200	M08	4	55	MC	200	7,87	7,87	9,04	45,96	18,13%	2	240	MC	250	8,80	8,80	9,96	230,04	27,24%	M09	3	35	F	263	9,12	8,80	9,96	25,04	30,06%	MC	250	M09	3	1143	F	149	7,01	6,69	7,85	1135,15	36,32%																
M03	2	63	MC		189	7,67	7,67	8,83	54,17	29,52%																																																																																																																																											
	3	58	F	202	7,99	7,67	8,83	49,17	31,06%																																																																																																																																												
		MC	189	M04						3	57	F	155	7,12	6,80	7,96	49,04	33,61%	MC	142	M05	3	44	F	188	7,73	7,41	8,57	35,43	33,76%			MC	175	M06	3	43	F	181	7,60	7,28	8,44	34,56	27,18%	MC	168	M07	2	26	MC	200	7,87	7,87	9,04	16,96	18,13%	3	20	F	213	8,19	7,87	9,04	10,96	20,65%			MC	200	M08	4	55	MC	200	7,87	7,87	9,04	45,96	18,13%	2	240	MC	250	8,80	8,80	9,96	230,04	27,24%	M09	3	35	F	263	9,12	8,80	9,96	25,04	30,06%	MC	250	M09	3	1143	F	149	7,01	6,69	7,85	1135,15	36,32%																																							
M04	3	57	F		155	7,12	6,80	7,96	49,04			33,61%																																																																																																																																									
			MC	142	M05					3	44		F	188	7,73	7,41	8,57	35,43	33,76%			MC	175	M06	3	43	F	181	7,60	7,28	8,44	34,56	27,18%	MC	168	M07	2	26	MC	200	7,87	7,87	9,04	16,96	18,13%	3	20	F	213	8,19	7,87	9,04	10,96	20,65%			MC	200	M08	4	55	MC	200	7,87	7,87	9,04	45,96	18,13%	2	240	MC	250	8,80	8,80	9,96	230,04	27,24%	M09	3	35	F	263	9,12	8,80	9,96	25,04	30,06%	MC	250	M09	3	1143	F	149	7,01	6,69	7,85	1135,15	36,32%																																																		
M05	3	44	F	188		7,73	7,41	8,57	35,43	33,76%																																																																																																																																											
			MC	175	M06						3	43	F	181	7,60	7,28	8,44	34,56	27,18%	MC	168	M07	2	26	MC	200	7,87	7,87	9,04	16,96	18,13%	3	20	F	213	8,19	7,87	9,04	10,96	20,65%			MC	200	M08	4	55	MC	200	7,87	7,87	9,04	45,96	18,13%	2	240	MC	250	8,80	8,80	9,96	230,04	27,24%	M09	3	35	F	263	9,12	8,80	9,96	25,04	30,06%	MC	250	M09	3	1143	F	149	7,01	6,69	7,85	1135,15	36,32%																																																																
M06	3	43	F	181		7,60	7,28	8,44	34,56	27,18%																																																																																																																																											
			MC	168	M07						2	26	MC	200	7,87	7,87	9,04	16,96	18,13%	3	20	F	213	8,19	7,87	9,04	10,96	20,65%			MC	200	M08	4	55	MC	200	7,87	7,87	9,04	45,96	18,13%	2	240	MC	250	8,80	8,80	9,96	230,04	27,24%	M09	3	35	F	263	9,12	8,80	9,96	25,04	30,06%	MC	250	M09	3	1143	F	149	7,01	6,69	7,85	1135,15	36,32%																																																																												
M07	2	26	MC	200		7,87	7,87	9,04	16,96	18,13%																																																																																																																																											
	3	20	F	213	8,19	7,87	9,04	10,96	20,65%																																																																																																																																												
		MC	200	M08						4	55	MC	200	7,87	7,87	9,04	45,96	18,13%	2	240	MC	250	8,80	8,80	9,96	230,04	27,24%	M09	3	35	F	263	9,12	8,80	9,96	25,04	30,06%	MC	250	M09	3	1143	F	149	7,01	6,69	7,85	1135,15	36,32%																																																																																																				
M08	4	55	MC		200	7,87	7,87	9,04	45,96	18,13%																																																																																																																																											
	2	240	MC	250	8,80	8,80	9,96	230,04	27,24%																																																																																																																																												
M09	3	35	F	263	9,12	8,80	9,96	25,04	30,06%																																																																																																																																												
			MC	250						M09	3	1143	F	149	7,01	6,69	7,85	1135,15	36,32%																																																																																																																																		
M09	3	1143	F	149	7,01	6,69	7,85	1135,15	36,32%																																																																																																																																												

M10	2	40	MC	136					
			MC	230	8,43	8,43	9,59	30,41	27,90%
M10	3	55	F	243	8,75	8,43	9,59	45,41	30,69%
			MC	230					
M11	2	74	MC	83	5,70	5,70	6,87	67,13	36,05%
	3	14	F	266	9,18	8,85	10,02	3,98	29,94%
		MC	253						
M12	1	21	PD	54	5,17	5,50	5,50	15,50	2,42%
	3	128	F	115	6,38	6,06	7,22	120,78	38,36%
		MC	102						
M13	2	27	MC	95	5,93	5,93	7,09	19,91	35,10%
M14	2	50	MC	209	8,04	8,04	9,20	40,80	28,72%
	3	120	F	222	8,36	8,04	9,20	110,80	31,67%
		MC	209						
M15	2	81	MC	203	7,93	7,93	9,09	71,91	28,97%
	3	82	F	216	8,25	7,93	9,09	72,91	31,97%
		MC	203						
M16	3	22	F	181	7,60	7,28	8,44	13,56	27,18%
			MC	168					
M17	4	1542	MC	107	6,15	6,15	7,31	1534,69	34,22%
M18	3	60	F	82	5,77	5,44	6,61	53,39	129,55%
			MC	69					
M19	2	27	MC	107	6,15	6,15	7,31	19,69	34,22%
	3	54	F	120	6,47	6,15	7,31	46,69	30,39%
			MC	107					
	4	145	MC	107	6,15	6,15	7,31	137,69	34,22%
M20	3	36	F	150	7,03	6,70	7,87	28,13	30,09%
			MC	137					
M20	4	230	MC	137	6,70	6,70	7,87	222,13	32,28%
M21	1	9	PD	84	5,72	6,06	6,06	2,94	4,77%
	4	33	MC	127	6,52	6,52	7,69	25,31	109,41%
M22	1	9	PD	70	5,46	5,80	5,80	3,20	20,01%
	4	33	MC	59	5,26	5,26	6,43	26,57	75,09%
M23	1	24	PD	65	5,37	5,70	5,70	18,30	20,08%
	3	24	F	64	5,44	5,11	6,28	17,72	6,40%
			MC	51					
	4	183	MC	65	5,37	5,37	6,54	176,46	37,62%
M24	3	19	F	87	5,86	5,54	6,70	12,30	32,64%
			MC	74					
M25	5	93	M	214	7,96	7,83	7,83	85,17	25,94%
			b	207					
M26	2	46	MC	25	4,63	4,63	5,80	40,20	88,19%
M27	3	37	F	75	5,64	5,31	6,48	30,52	16,78%
			MC	62					

Tabla 14. Características estimadas de las diferentes operativas de cada una de las máquinas tras la implantación de los AMR.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver, no se ha obtenido ninguna diferencia de tiempo disponible-estimado negativa, por lo que **la solución propuesta se considera válida**. Sin embargo, se han subrayado en rojo aquellos tiempos que podrían suponer un problema si los robots encargados de realizar esas operativas tardasen más de lo esperado en realizar la sustitución de un embalaje. En **M21** y **M22** ya se ha comentado que se utilizarán **AMR dedicados** debido a la necesidad de un alargamiento de las uñas, por lo que la única acción adicional necesaria será establecer en estas operativas las **prioridades más altas en cuanto a paso en intersecciones**. Por otro lado, para la **M11**, se ha visto en este estudio la necesidad de, cuando esté trabajando con la operativa subrayada, dedicar un AMR exclusivamente a ella y darle prioridad en intersecciones.

Por último, a modo de comparación, se puede ver que **los tiempos han aumentado entre un 2 y un 130%** respecto a los tiempos iniciales con carretillero, sin embargo, este aumento de tiempo **no supone un problema**, ya que lo importante es que la sustitución de los embalajes se realice a tiempo. Así pues, estos aumentos de tiempos suponen incluso una mejora en las líneas, consiguiendo aproximar más los tiempos al proceso y **acercar más a la empresa a un JIT (Just In Time)**.

6.2. Cálculo del número de vehículos necesarios.

Una vez se saben las especificaciones de las nuevas operativas se puede realizar un cálculo aproximado del número de robots necesarios. Para el cálculo se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- **Frecuencia retirada-suministro [h]:** Tiempo que tarda en llenarse un embalaje. Será el tiempo máximo del que se dispone para realizar la sustitución del embalaje, empezando a contar una vez que el operario de producción realiza la petición. (*Mínimo tiempo entre retirada/suministro de embalajes [min]/60*)
- **Viajes/h:** 1/ Frecuencia retirada-suministro [h]
- **Tiempo [min]:** Tiempo estimado RETIRADA/SUMINISTRO [min]
- **Necesidades 1 hora [min]:** Minutos totales de robots ocupados en 1 hora (*Viajes/h*Tiempo estimado RETIRADA/SUMINISTRO*)
- **Nº AMR:** *Necesidades 1 hora [min]/(60*0,8)*. Número de AMR para cubrir las necesidades, teniendo en cuenta que cada AMR necesita disponer de un 20% del tiempo para la recarga de su batería.
- El cálculo se ha realizado dividido en zonas con objeto de saber cuántas ubicaciones de “parking” debe haber en cada zona. El número estas ubicaciones en cada zona será el número de robots obtenido en cada zona redondeando hacia abajo.
- Se han calculado por separado aquellas operativas con necesidad de AMR dedicados (uñas largas).
- La única operativa que puede funcionar al mismo tiempo que otra en una misma máquina es la 4 (retirada-suministro de embalajes de componentes).
- Se tendrá en cuenta la situación más desfavorable de cada una de las máquinas, es decir, aquella con un menor tiempo disponible para la sustitución de embalajes.
- En caso de que una máquina tenga dos operativas con tiempos disponibles similares, se escogerá aquella cuyos tiempos de retirada y suministro sean mayores.
- La M23 solo trabaja en turno de noche y M12 nunca trabaja en turno de noche.
- M21 y M22 nunca trabajan al mismo tiempo.

A continuación, se muestran, para cada subdivisión considerada, los resultados obtenidos:

ZONA 1	Frecuencia retirada-suministro (h)	Viajes/h	Tiempo (min)	Necesidades 1 hora (min)
M17				
Retirada	25,70	0,04	6,15	0,24
M19 (Op. 2)				
Retirada	0,45	2,22	6,15	13,67
M19 (Op. 4)				
Retirada	2,42	0,41	6,15	2,54
M13				
Retirada	0,45	2,22	5,93	13,18
M20 (Op. 3)				
Retirada	0,60	1,67	7,03	11,72
M20 (Op. 4)				
Retirada	3,83	0,26	6,7	1,75
M21 (Op. 4)				
Retirada	0,55	1,82	6,52	11,85
Total				54,95
nº AMR				1,14

Tabla 15. Cálculo del número de robots necesarios para la zona 1.
Fuente: Elaboración propia.

ZONA 2	Frecuencia retirada-suministro (h)	Viajes/h	Tiempo (min)	Necesidades 1 hora (min)
M02				
Retirada	0,63	1,58	6,92	10,93
M01				
Retirada	1,40	0,71	7,12	5,09
M06				
Retirada	0,72	1,40	7,6	10,60
M16				
Retirada	0,37	2,73	7,6	20,73
M05				
Retirada	0,73	1,36	7,73	10,54
M03				
Retirada	0,97	1,03	7,99	8,27
M04				
Retirada	0,95	1,05	7,12	7,49
Total				73,65
nº AMR				1,53

Tabla 16. Cálculo del número de robots necesarios para la zona 2.
Fuente: Elaboración propia.

ZONA 3	Frecuencia retirada-suministro (h)	Viajes/h	Tiempo (min)	Necesidades 1 hora (min)
M09				
Retirada	19,05	0,05	7,01	0,37
M14				
Retirada	0,83	1,20	8,04	9,65
M15				
Retirada	1,37	0,73	8,25	6,04
M10				
Retirada	0,67	1,50	8,43	12,65
M12 (Op. 3)				
Retirada	2,13	0,47	6,38	2,99
M07 (Op. 3)				
Retirada	0,33	3,00	8,19	24,57
M07 (Op. 4)				
Retirada	0,92	1,09	7,87	8,59
M08				
Retirada	0,58	1,71	9,12	15,63
M11				
Retirada	0,23	4,29	9,18	39,34
Total				119,82
nº AMR				2,50

Tabla 17. Cálculo del número de robots necesarios para la zona 3.
Fuente: Elaboración propia.

ZONA 4	Frecuencia retirada-suministro (h)	Viajes/h	Tiempo (min)	Necesidades 1 hora (min)
M18				
Retirada	1,00	1,00	5,77	5,77
M23 (Op. 3)				
Retirada	0,40	2,50	5,44	13,60
M23 (Op. 4)				
Retirada	3,05	0,33	5,37	1,76
M24				
Retirada	0,32	3,16	5,86	18,51
M25				
Retirada	1,55	0,65	7,96	5,14
M26				
Retirada	0,77	1,30	4,63	6,04
M27				
Retirada	0,62	1,62	5,64	9,15
Total				59,96
nº AMR				1,25

Tabla 18. Cálculo del número de robots necesarios para la zona 4.
Fuente: Elaboración propia.

DEDICADOS	Frecuencia retirada-suministro (h)	Viajes/h	Tiempo (min)	Necesidades 1 hora (min)
M12 (Op. 1)				
Retirada	0,35	2,86	5,17	14,77
M21 (Op. 1)				
Retirada	0,15	6,67	5,72	38,13
Total				52,90
nº AMR				1,10

Tabla 19. Cálculo del número de robots dedicados (uñas largas) necesarios en la zona de máquinas.
Fuente: Elaboración propia.

ALMACÉN PD	Frecuencia retirada-suministro (h)	Viajes/h	Tiempo (min)	Necesidades 1 hora (min)
M12 (Op. 1)				
Suministro	0,35	2,8571	5,5	15,71428571
M21 (Op. 1)				
Suministro	0,15	6,6667	6,06	40,40
Total				56,11428571
nº AMR				1,17

Tabla 20. Cálculo del número de robots dedicados (uñas largas) necesarios en la zona de posiciones dedicadas del almacén.
Fuente: Elaboración propia.

Almacén MC	Frecuencia retirada-suministro (h)	Viajes/h	Tiempo (min)	Necesidades 1 hora (min)
M01				
Suministro	1,40	0,71	6,8	4,86
M02				
Suministro	0,63	1,58	6,59	10,41
M03				
Suministro	0,97	1,03	7,67	7,93
M04				
Suministro	0,95	1,05	6,8	7,16
M05				
Suministro	0,73	1,36	7,41	10,10
M06				
Suministro	0,72	1,40	7,28	10,16
M07 (Op. 3)				
Suministro	0,33	3,00	7,87	23,61
M07 (Op. 4)				
Suministro	0,92	1,09	7,87	8,59
M08				
Suministro	0,58	1,71	8,8	15,09
M09				
Suministro	19,05	0,05	6,69	0,35
M10				
Suministro	0,67	1,50	8,43	12,65
M11				
Suministro	0,23	4,29	8,85	37,93
M12 (Op. 3)				
Suministro	2,13	0,47	6,06	2,84
M13				
Suministro	0,45	2,22	5,93	13,18
M14				
Suministro	0,83	1,20	8,04	9,65
M15				
Suministro	1,37	0,73	7,93	5,80
M16				
Suministro	0,37	2,73	7,28	19,85
M17				
Suministro	25,70	0,04	6,15	0,24
M18				
Suministro	1,00	1,00	5,44	5,44
M19 (Op. 2)				
Suministro	0,45	2,22	6,15	13,67
M19 (Op. 4)				
Suministro	2,42	0,41	6,15	2,54
M20 (Op. 3)				
Suministro	0,60	1,67	6,7	11,17
M20 (Op. 4)				
Suministro	3,83	0,26	6,7	1,75
M21 (Op. 4)				
Suministro	0,55	1,82	6,52	11,85
M23 (Op. 3)				
Suministro	0,40	2,50	5,11	12,78
M23 (Op. 4)				
Suministro	3,05	0,33	5,37	1,76
M24				
Suministro	0,32	3,16	5,54	17,49
M25				
Suministro	1,55	0,65	7,83	5,05
M26				
Suministro	0,77	1,30	4,63	6,04
M27				
Suministro	0,62	1,62	5,31	8,61
Total				298,54
nº AMR				6,22

Tabla 21. Cálculo del número de robots necesarios en la zona multi-contenedor del almacén.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, sumando el nº de AMR obtenidos en cada zona, resultan un total de, 14,92 AMR, y redondeando hacia arriba para asegurar cumplir con las necesidades, **15 AMR** para automatizar todos los movimientos internos de la fábrica, **12 sin modificaciones**, y **3 con uñas largas**.

Además, la empresa comunicó el comienzo de un **nuevo proyecto en sus instalaciones** a finales del año 2023, la fabricación y pintura de las piezas para un nuevo modelo de automóvil que supondrá una ampliación del almacén en un altillo de la fábrica, para lo cual la empresa tendría que asumir la contratación de **4 carretilleros más por turno de trabajo**.

Sabiendo que se han obtenido unas necesidades de aproximadamente 15 AMR para la sustitución de 5 carretilleros por turno de trabajo, se puede estimar la necesidad de **3 AMR por carretillero**, con lo cual, para el nuevo proyecto serán necesarios **12 AMR adicionales**, resultado un **total de 27 AMR**.

7. Acciones a realizar para la integración y gestión de los vehículos.

En función de la tipología de vehículo a implantar y los requerimientos de la empresa, las acciones a realizar en el desarrollo del proyecto pueden variar. Por lo tanto, una vez conocida toda la información necesaria, en la siguiente tabla se enumeran las **acciones que se deben realizar** junto a una **estimación de tiempos de trabajo**, con objeto de poder calcular un presupuesto estimado para este proyecto, que permita **determinar su viabilidad económica**. La descripción de cada una de las acciones se encuentra en el [Anexo VIII](#).

Nº acción	Acción	Horas estimadas
I	Mapeado de la fábrica	24
II	Limpieza de elementos móviles	40
III	Marcado de ubicaciones y prepuntos	432
IV	Creación y optimización de las rutas	260
V	Establecimiento de restricciones	280
VI	Simulaciones	520
VII	Programación de tareas en RDS	36
VIII	Toma de datos	480
IX	Desarrollo de la App de gestión	480
X	Pruebas iniciales	480
XI	Puesta en marcha progresiva	640
TOTAL HORAS IMPLANTACIÓN		3192
TOTAL HORAS DESARROLLO		480

Tabla 22. Acciones necesarias para la implantación de los AMR y estimación de horas de trabajo de cada una de ellas.
Fuente: Elaboración propia.

Para poder dar una estimación de la duración del desarrollo del proyecto, se muestra a continuación el **Gantt** que resultará a partir de las acciones necesarias y las horas de trabajo estimadas, **considerando como inicio el comienzo de los trabajos de implantación**. Hay que tener en cuenta que, los **hitos previos** al comienzo de este Gantt son la **recepción del informe de requerimientos del cliente**, donde se detallan las necesidades y características de las diferentes operativas que se van a automatizar, posterior **estudio de estos informes**, **redacción del informe de la solución propuesta y del presupuesto** por parte de **Moontech**, **aceptación del cliente** y posterior **compra y recepción de los vehículos** en la fábrica.

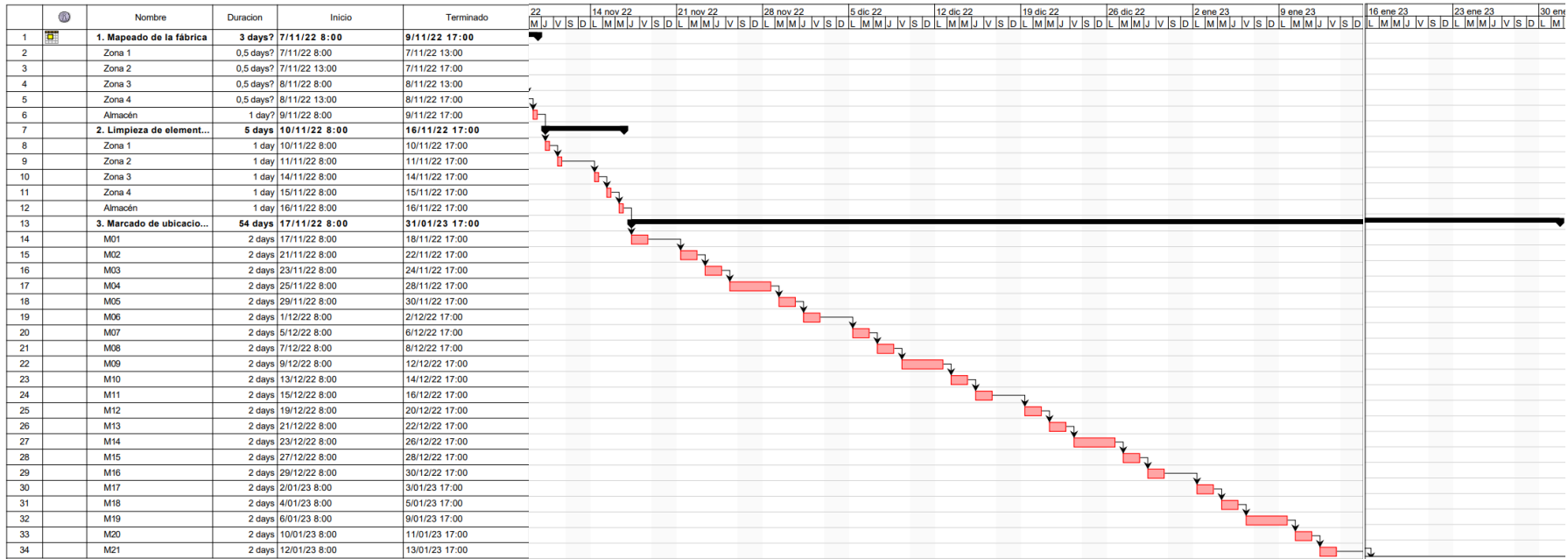


Ilustración 6. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 1).
Fuente: Elaboración propia.

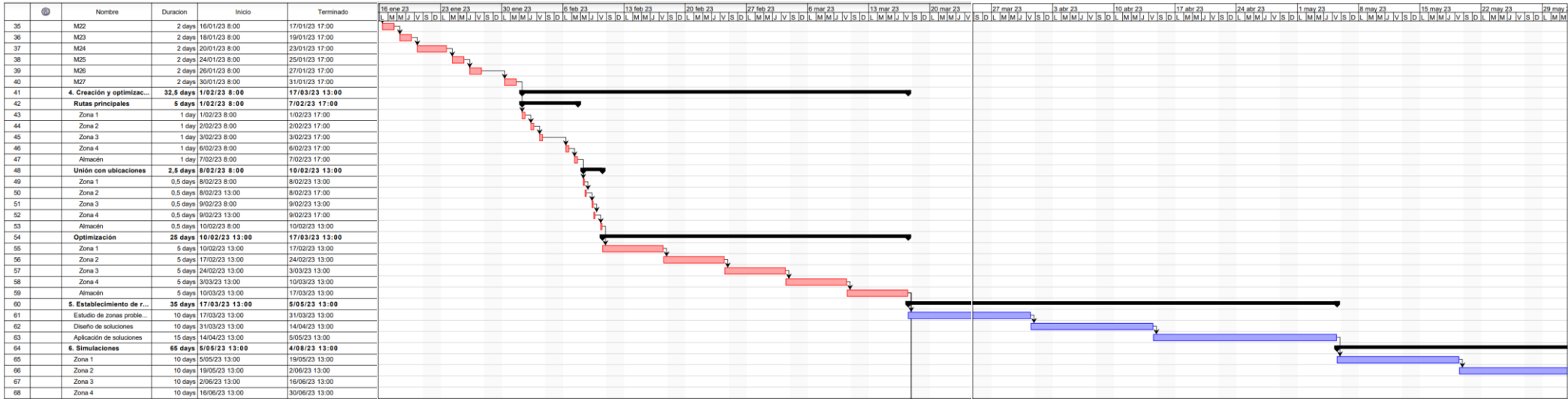


Ilustración 7. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 2).
Fuente: Elaboración propia.

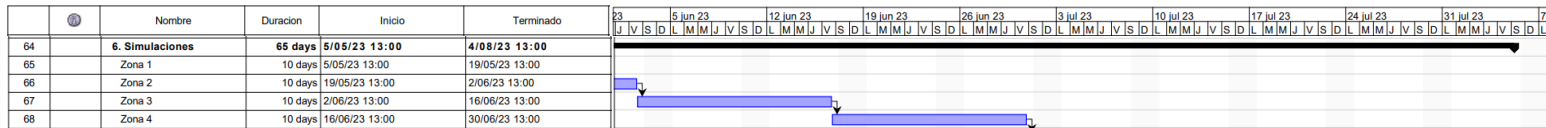


Ilustración 8. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 3).
Fuente: Elaboración propia.

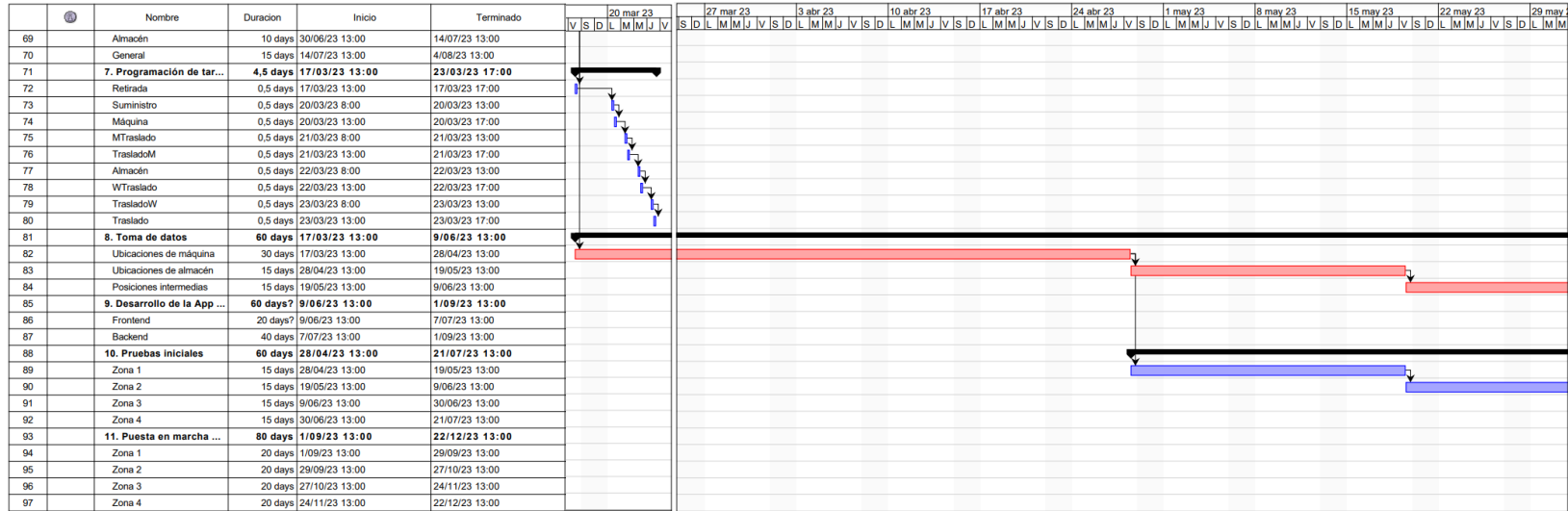


Ilustración 9. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 4).

Fuente: Elaboración propia.

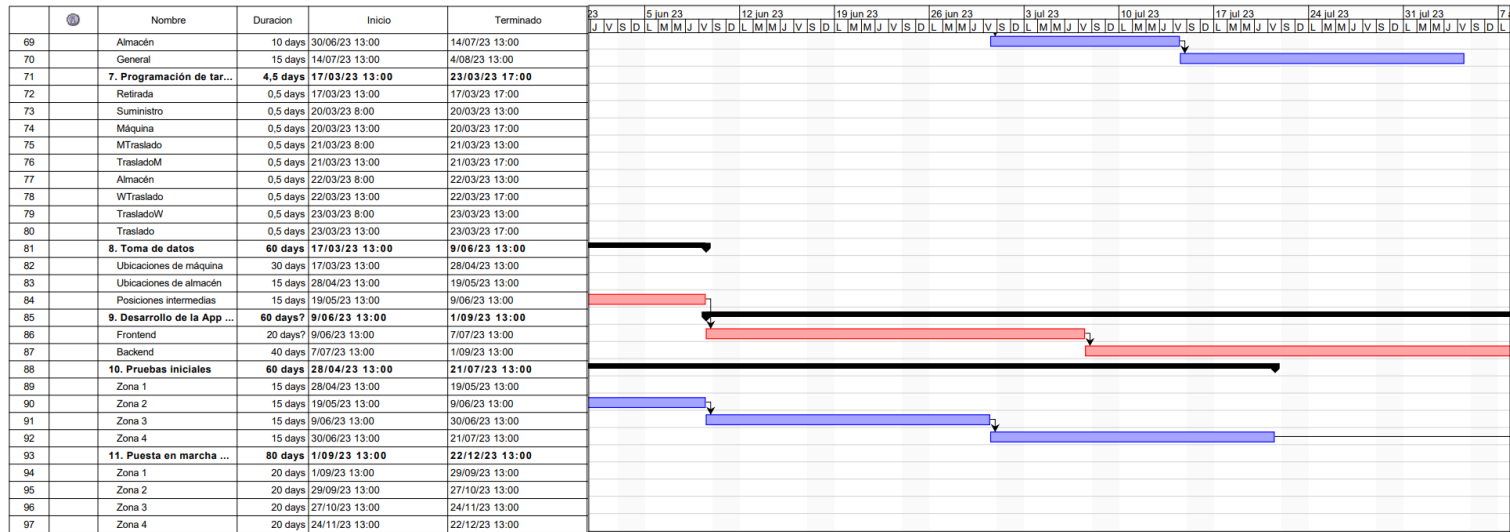


Ilustración 10. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 5).

Fuente: Elaboración propia.

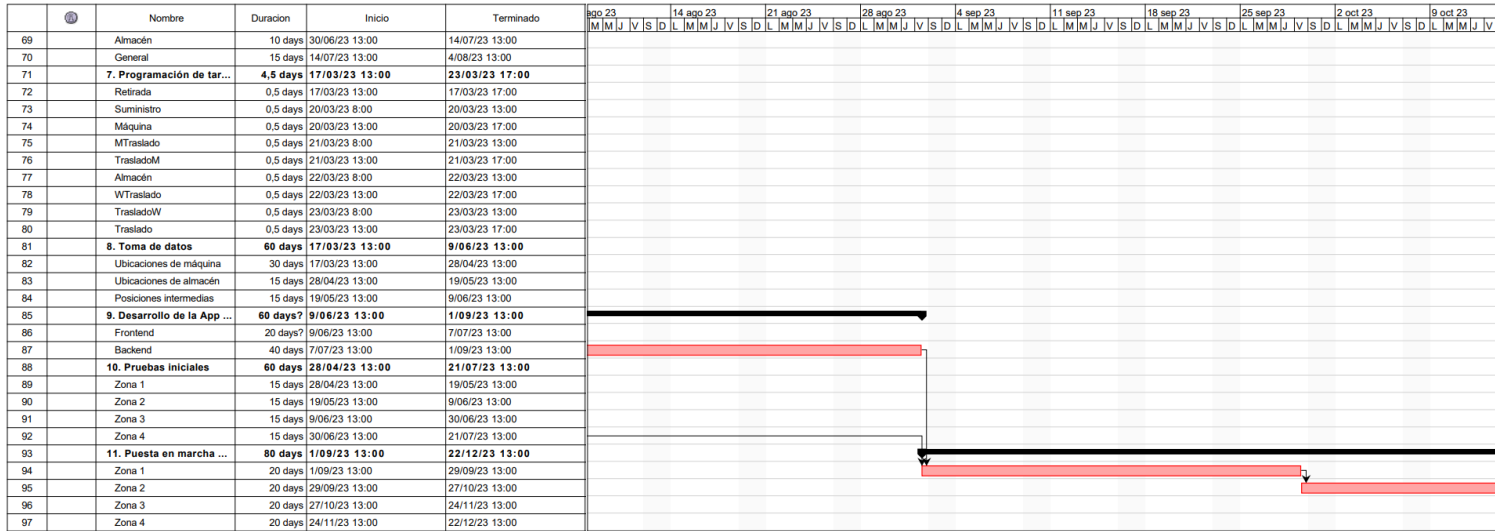


Ilustración 11. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 6).
Fuente: Elaboración propia.

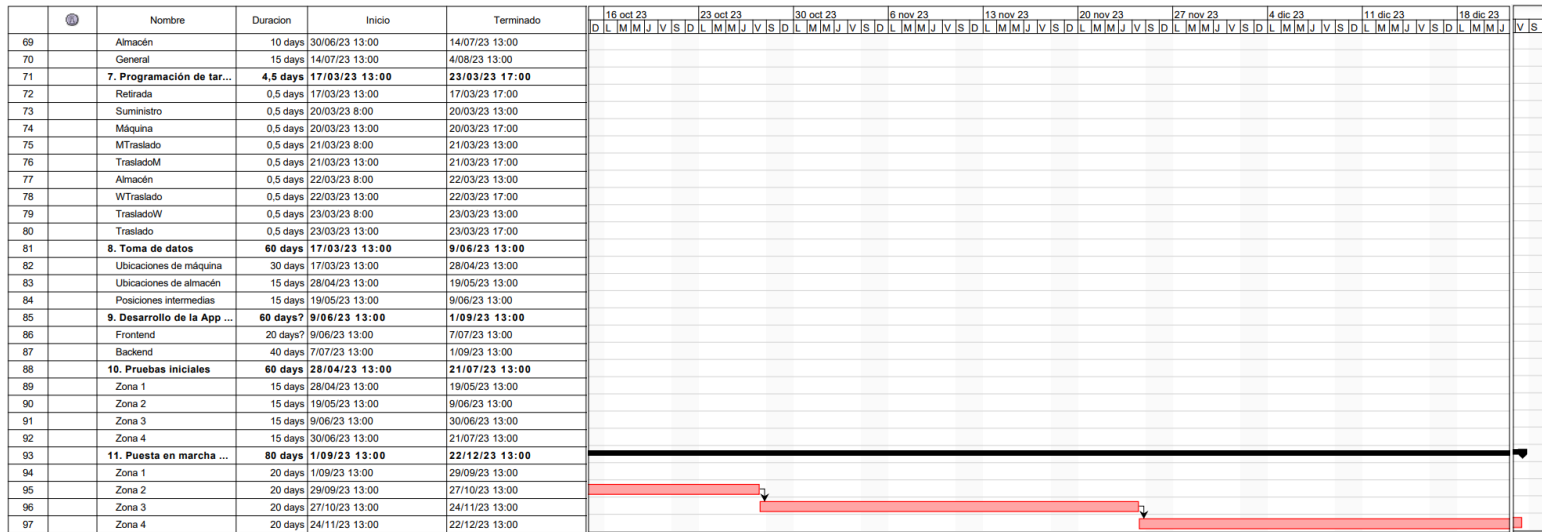


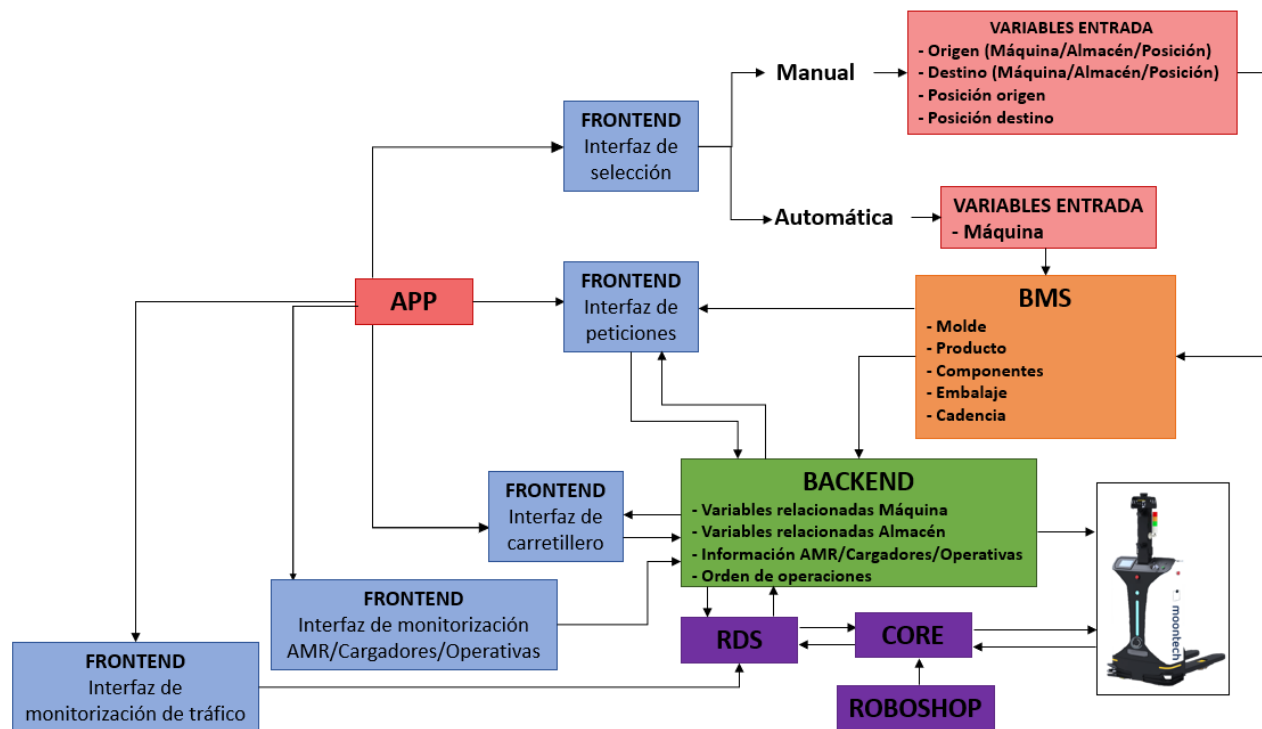
Ilustración 12. Diagrama de Gantt de la implantación del proyecto (parte 7).
Fuente: Elaboración propia.

8. App de gestión. Conexiones necesarias, usos y funcionalidades.

Como ya se ha ido comentando, el **lanzamiento y gestión de las diferentes operativas** requerirá la **interacción de los operarios de producción, los carretilleros de almacén y el pastor**, con el sistema que controla los AMR.

Cada una de las máquinas dispondrá de una **Tablet en el puesto de trabajo** para realizar las **peticiones de retirada-suministro** necesarias. Los **carretilleros de almacén** encargados de la ubicación y reubicación de embalajes dispondrán de una **PDA** para realizar las **indicaciones y confirmaciones necesarias**. Además, el **control room** de la empresa dispondrá de una **televisión** donde se **monitorizará el tráfico en tiempo real**, así como **datos en tiempo real relativos a las operativas y los AMR** que se encuentran en funcionamiento, y, en caso de que sea necesario, el **pastor** podrá realizar las **acciones correctivas** oportunas mediante una **Tablet**.

Para ello, será necesaria la creación de un **sitio web** formado por una serie de interfaces. Para su desarrollo, deben quedar claras una serie de **conexiones que van desde su parte visual e interactiva** (pantallas de las Tablets) **hasta la ejecución de las diferentes operativas por los AMR**. Las partes involucradas y conexiones entre ellas se muestran en el [Esquema 13](#) y la descripción detallada de la función de cada una de las partes y sus conexiones se muestra en el [Anexo IX](#).



Esquema 13. Partes involucradas y conexiones necesarias entre ellas para el desarrollo de la App.
Fuente: Elaboración propia.

Así pues, para la **gestión y monitorización de los diferentes movimientos internos que tendrán lugar en la fábrica tras la implantación de los AMR**, el equipo de desarrollo de Moontech desarrollará las **5 interfaces** que se ven en color azul en el esquema superior, con las cuales **podrán interactuar los operarios de producción, los carretilleros y el pastor**. A continuación, se describen resumidamente los **usos y funcionalidades** de cada una de ellas. Se podrá ver información ampliada en el [Anexo X](#).

- **Interfaz de selección:** podrá ser automática o manual. La **automática** se utilizará para que el **operario de producción** pueda **seleccionar la máquina** en la que se encuentra, de forma que, una vez confirmada, se cargará desde **BMS** toda la información relacionada con esa máquina y se redirigirá al operario a la **interfaz de peticiones**. La **manual** se utilizará para que, el **pastor** pueda **lanzar** a un determinado robot

y en un determinado momento **cualquier tipo de tarea**, pudiendo seleccionar el **origen y el destino de su movimiento**, y asociándose, en función de esto, la tarea correspondiente.

Ilustración 13. Formato esperado para la interfaz de selección automática.
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 14. Formato esperado para la interfaz de selección manual.
Fuente: Elaboración propia.

- **Interfaz de peticiones:** esta interfaz la utilizarán únicamente los **operarios de producción** para lanzar órdenes de retirada-suministro. Estará compuesta por una pestaña denominada **“Botonera”** donde aparecerán el **número de botones correspondientes al número de posiciones de retirada** de embalajes de productos y componentes que haya en la máquina que hayan seleccionado previamente en la interfaz de selección de su puesto. Una vez pulsado uno de los botones, **se asignará toda la información asociada a dicho botón** a la orden y se **lanzará la tarea** de retirada a un robot y la de suministro a otro. Por otro lado, habrá una pestaña de **“Peticiones anteriores”** donde se podrá visualizar la **información** referente a **peticiones anteriores de la misma máquina**.

Ilustración 15. Formato esperado para la pestaña “Botonera” de la interfaz de peticiones.
Fuente: Elaboración propia.

Posición	Embalaje	Hora de petición	Hora de finalización
3	RE66	8:04:10	8:14:20
5	RE35	7:25:30	7:34:40

Ilustración 16. Formato esperado para la pestaña “Peticiones anteriores” de la interfaz de peticiones.
Fuente: Elaboración propia.

- **Interfaz de carretillero:** los carretilleros del almacén recibirán **notificaciones de ubicación y reubicación de embalajes** en el almacén a través de esta interfaz, donde también realizarán las **indicaciones y confirmaciones necesarias**. Además, también podrán visualizar **notificaciones anteriores** que ya hayan recibido actuación y confirmación.

Notificaciones						
Notificaciones actuales:						
Embalaje	Componente	Acción	Zona	Ubicación	Confirmación	
RE35	C216	Reubicar	MC	3	✓	
RE28	-	Ubicar	MC	6	✓	
Notificaciones anteriores:						
Embalaje	Componente	Acción	Zona	Ubicación	Fecha	Hora
RE35	C216	Reubicar	MC	3	26/04/23	10:04

Ilustración 17. Formato esperado para la interfaz de carretillero.
Fuente: Elaboración propia.

- **Interfaz de monitorización AMR/Cargadores/Operativas:** esta interfaz podrá ser utilizada tanto por el **control room** de la empresa como por el **pastor** para visualizar **datos en tiempo real** relativos a los AMR, los **cargadores** y las **operativas** que se encuentren en funcionamiento de forma que se puedan **detectar rápidamente posibles incidencias**.

AMR											
ID	IP	Batería	Localización	Estado	Con carga	Embalaje	Cargando	Bloqueado	Máquina	Operación	Confidencia
01	192.168.100.110	67%	PP50	Libre	Si	RE45	No	No	--	--	1.00
02	192.168.100.111	80%	AP130	Activo	No	--	No	No	M18	Retirada	0.91
03	192.168.100.112	50%	LM80	En espera	No	--	No	No	M22	Retirada	0.76
04	192.168.100.113	45%	LM200	Pausado	No	--	No	Si	M12	Suministro	0.55
05	192.168.100.114	25%	AP68	Activo	No	--	No	No	M13	Suministro	0.40
06	192.168.100.115	40%	LM250	Activo	Si	RE98	No	Si	M26	Retirada	0.68
07	192.168.100.116	92%	LM265	Libre	No	--	No	No	--	--	0.96
08	192.168.100.117	85%	AP147	Completado	No	--	No	No	M25	Suministro	0.92
09	192.168.100.118	70%	LM20	Cancelado	No	--	No	No	M20	Suministro	0.75
10	192.168.100.119	30%	LM96	Fallido	No	--	No	Si	M08	Retirada	0.93
11	192.168.100.120	52%	AP182	Activo	Si	RE65	No	No	M03	TrasladoM	0.80
12	192.168.100.121	40%	CP50	Libre	Si	RE32	Si	No	--	--	0.80

Ilustración 18. Formato esperado para la pantalla de AMR de la interfaz de monitorización.
Fuente: Elaboración propia.

Cargadores				
ID	IP	Localización	Estado	Cargando
01	192.168.100.248	CP50	Libre	No
02	192.168.100.249	CP90	Ocupado	Si
03	192.168.100.250	CP87	Libre	No
04	192.168.100.260	CP40	Ocupado	No
05	192.168.100.261	CP32	Ocupado	Si
06	192.168.100.262	CP78	Ocupado	Si

Ilustración 19. Formato esperado para la pantalla de Cargadores de la interfaz de monitorización.
Fuente: Elaboración propia.



Máquina	Posición	Embalaje	Componente	Destino	Tarea	AMR	Prioridad
M11	1	RE25	--	Flejadora	Retirada	4	1
M20	3	RE47	C062	MC	Retirada	10	3
M15	1	RE06	--	MC	Suministro	14	6
M03	2	RE98	--	MC	Retirada	22	8
M10	5	RE83	--	Flejadora	Suministro	11	4
M25	3	RE83	--	Montaje	Retirada	2	10
M18	3	RE67	--	Flejadora	Suministro	7	12
M22	6	RE54	C041	MC	Retirada	19	2
M13	2	RE03	--	MC	Retirada	16	5
M09	5	RE36	--	Flejadora	TrasladoM	18	11
M27	2	RE78	--	Flejadora	Suministro	18	7
M22	2	RE90	--	PD	Retirada	5	9

Ilustración 20. Formato esperado para la pantalla de Operativas de la interfaz de monitorización.
Fuente: Elaboración propia.

- **Interfaz de monitorización de tráfico:** esta interfaz la podrán utilizar tanto el **control room** de la empresa como el **pastor** para poder visualizar el tráfico en tiempo real en todo momento y poder realizar una **búsqueda rápida de un AMR** concreto o de determinadas **localizaciones** en el mapa, de forma que, si se detecta una incidencia en un AMR, o es necesario que el pastor vaya a una localización concreta, podrá buscar rápidamente en qué parte del mapa se encuentra.

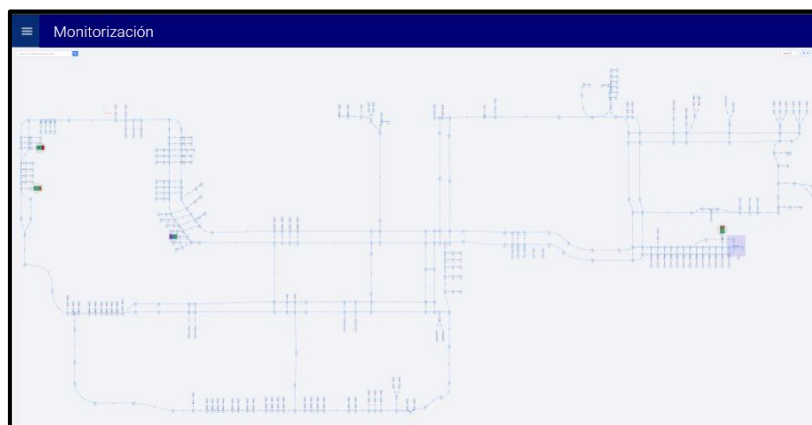


Ilustración 21. Formato esperado para la interfaz de monitorización de tráfico.
Fuente: Elaboración propia.

Por último, para **dar funcionalidad a las interfaces** descritas será necesario un **desarrollo en el Backend** que incluirá la **creación de bases de datos** con una serie de **variables relacionadas entre ellas** y, en algunos casos, con **información proveniente de BMS**. A continuación, se explican resumidamente cada una de las bases de datos que será necesario crear. Se puede ver información ampliada en el [Anexo XI](#).

- **Información de BMS:** se establecerá una conexión entre **Backend y BMS** para obtener toda la **información** necesaria relativa a las **órdenes de fabricación** (máquina, molde, producto, componente, embalaje, nº de piezas que caben en el embalaje y cadencia de la máquina) que haya en cada máquina en un momento determinado.
- **Información de ubicaciones de máquina:** la información que se obtendrá a través de BMS se relacionará con **otras variables necesarias relativas a la zona de los puestos de trabajo** (máquina, posición, estado de la posición, embalaje, tipo de embalaje, tiempo de llenado, ubicación y prepunto origen, ubicación y prepunto destino, altura de carga/descarga, “En altura”, punto de origen, punto de destino, posición de decisión, destino y posicionamiento del embalaje), para poder **asociar las que sean necesarias en cada petición**.
- **Información de ubicaciones de almacén:** en esta base de datos se relacionarán **variables relativas a las ubicaciones del almacén entre ellas y con información asociada a las peticiones** (Zona, posición,

posicionamiento, ubicación y prepunto de retirada, ubicación y prepunto de suministro, estado de la ubicación, altura de carga, altura de descarga, punto de origen y punto de destino).

- **Información relativa a los AMR:** esta base de datos se creará para mostrar la información necesaria en la pantalla de monitorización de los AMR (Id, IP, Batería, Localización, Estado, “Con carga”, embalaje, “cargando”, “bloqueado”, máquina, operación, confidence).
- **Información relativa a los Cargadores:** esta base de datos se creará para mostrar la información necesaria en la pantalla de monitorización de los cargadores (Id, IP, Localización, Estado, “cargando”).
- **Información relativa a las Operativas:** esta base de datos se creará para mostrar la información necesaria en la pantalla de monitorización de las operativas (Máquina, posición, embalaje, componente, destino, tarea, AMR, prioridad).

9. Viabilidad económica.

Una vez finalizado todo el estudio técnico del proyecto, se va a estudiar su viabilidad económica. Un **resultado positivo** de este estudio será **fundamental para que la implantación del proyecto siga adelante**.

La empresa objeto de automatización pertenece al **sector de la automoción**, donde los **proyectos** tienen una **duración aproximada de 5 años**, por lo que, la empresa solo aceptará la implantación de este proyecto si el retorno de la inversión es menor, ya que, de lo contrario, no resultaría rentable.

Así pues, se va a estudiar cuál será el total de la inversión a realizar por la empresa en los 5 años de duración del proyecto, así como los ahorros previstos ante su implantación. De esta forma se podrá calcular el PRI (Periodo de Retorno de la Inversión), obteniendo un **resultado positivo si resulta ser menor a 5 años**, y negativo si resulta ser mayor.

9.1. Costes y ahorros.

En comparación con los sistemas de automatización convencionales que existen, como los AGV, los AMR ganan en asequibilidad general, gracias a que no es necesario realizar grandes inversiones para renovar los entornos y agregar infraestructura. Los AMR tienen una implementación relativamente rápida que va desde unas pocas semanas hasta unos pocos meses, y el número de AMR se puede ampliar o reducir fácilmente según la necesidad operativa. A largo plazo, la implementación y las operaciones exitosas de estos pueden convertirse en un factor clave de la rentabilidad y la productividad general.

Así pues, el estudio técnico realizado para la automatización de los movimientos internos de la fábrica, ha demostrado que la **implantación de 27 AMR tipo transpaleta de la empresa Moontech** será suficiente para cumplir con éxito los objetivos marcados.

En la siguiente tabla se muestran los **costes finales de cada uno de los servicios prestados por Moontech en la primera fase de automatización** de los movimientos internos, que comprenden desde la venta de los AMR hasta su implantación en la fábrica, sin tener en cuenta el trabajo de integración y desarrollo necesario para el nuevo proyecto del altillo. En este caso no se incluye servicio postventa ya que será la propia empresa la que se encargue del mantenimiento de los equipos.

Servicio/Producto	Descripción	Coste
Equipos	Compra de 27 AMR, 6 cargadores, 27 Tablets y 1 PDA	1.868.000 €
Trabajo integración	Coste del total de las horas dedicadas a acciones de implantación (acciones I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, X y XI descritas en la tabla X). Horas estimadas: 3192 h	159.600 €
Trabajo desarrollo	Coste del total de las horas dedicadas al desarrollo de la App. Horas estimadas: 480 h	24.000 €
Coste total		2.051.600 €

Ilustración 22. Presupuesto estimado de la primera fase del proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las horas de trabajo para el proyecto del atillo, dado que para la integración de 15 AMR han resultado un total de 3.672 horas, para la integración de 12 AMR se estima un 80% de esas horas, es decir 2.937,6 horas, que supondrán un **coste adicional de 146.880 €**, suponiendo el **coste total del trabajo 330.480 €**.

Moontech ofrece la posibilidad de un solo pago o un servicio de renting de 60 meses con pagos de 38.473,4 €/mes, siendo esta última la opción seleccionada por la empresa, con lo que la **inversión total en 5 años** asciende a **2.308.404 €**.

En cuanto a **ahorros**, la implantación de los AMR supondrá la **eliminación de los costes asociados a la manutención de los operarios** que hasta ahora se dedicaban al movimiento de los embalajes mediante carretillas elevadoras, además de los carretilleros que la empresa tendría que contratar para el nuevo proyecto del atillo. En concreto, serán los costes de **7 operarios por turno de trabajo**, ya que se mantendrán 2 por turno de trabajo para la ubicación y reubicación de embalajes. De forma que, siendo los costes por operario de 30.000 €/año, el **coste ahorrado en un año será de 630.000 €, y en 5 años, de 3.150.000 €**.

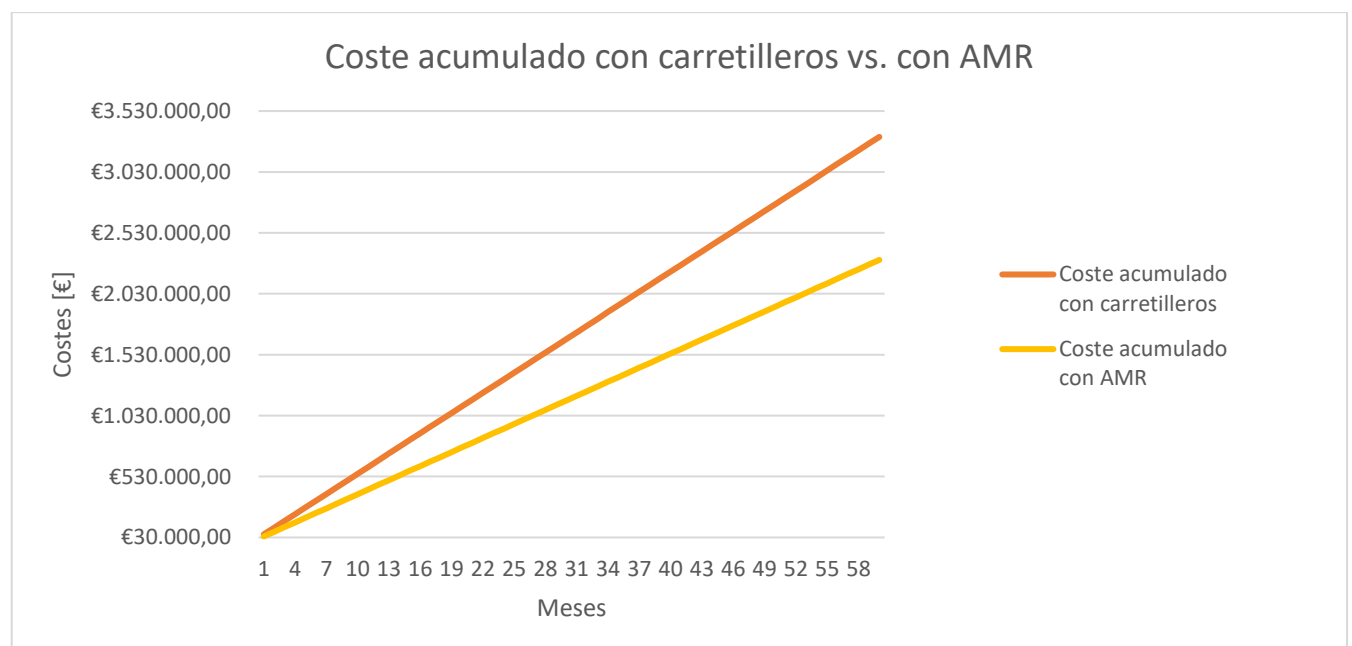
Por otro lado, las **carretillas elevadoras utilizadas dejarán de ser útiles** para la empresa, por lo que, también se eliminarán sus costes asociados, suponiendo un ahorro adicional de 4.800 €/carretilla-año, lo que hace un total de **168.000 € en 5 años**, teniendo pues unos **ahorros totales de 3.318.000 €**.

9.2. Rentabilidad del proyecto.

Una vez calculados los costes que supone seguir adelante con el proyecto y los costes que ahorraría la empresa con su implantación, se puede determinar su rentabilidad mediante el **cálculo del Periodo de Retorno de la Inversión (PRI)**, que, como ya se ha comentado, para considerarlo positivo, tendrá que ser menor a 5 años.

Como se ha visto, la **inversión total a realizar por la empresa** para la implantación de los AMR es de **2.308.404 € en 5 años**. Por otro lado, **los ahorros que tendrá en el mismo tiempo ascienden a 3.318.000 €**.

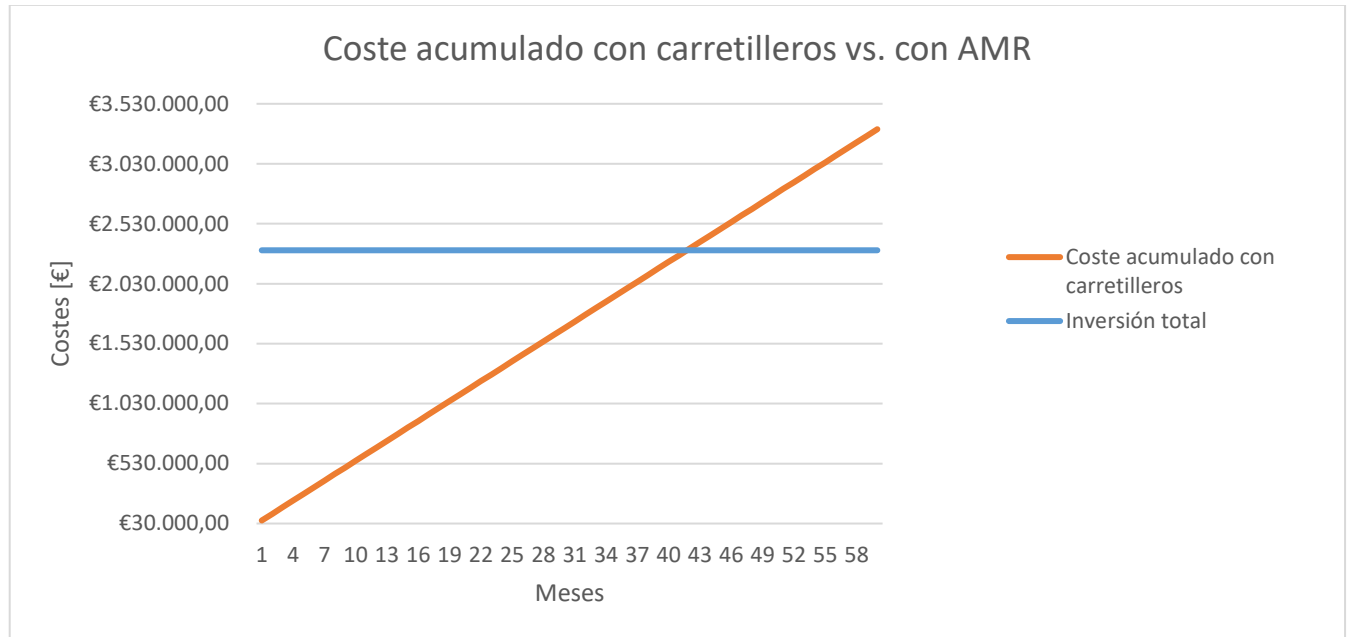
En la siguiente gráfica, se puede ver claramente que la nueva situación supondría, a medio y largo plazo, una disminución importante de los costes acumulados.



Gráfica 2. Coste acumulado con carretilleros vs. con AMR.

Fuente: Elaboración propia.

Si ahora se traza una línea horizontal de valor igual a la inversión total junto con la recta del coste acumulado del coste acumulado con carretilleros, se podrá ver gráficamente cuál es el Periodo de Retorno de la Inversión.



Gráfica 3. Coste acumulado con carretilleros con respecto al valor de la Inversión total con AMR.
Fuente: Elaboración propia.

Cómo se puede ver, el Periodo de Retorno está entre los 40 y los 43 meses, es decir, algo más de 3 años. En la siguiente tabla se encuentran los costes acumulados con carretilleros en ese periodo, de forma que se pueda determinar el PRI exacto:

	40	41	42	43
Coste acumulado con carretilleros	2.212.000,00 €	2.267.300,00 €	2.322.600,00 €	2.377.900,00 €

Tabla 23. Costes acumulados con carretilleros entre los meses 40 y 43.
Fuente: Elaboración propia.

$$PRI = \frac{42 - 41}{2.322.600 - 2.267.300} \times (2.308.404 - 2.267.300) + 41 = 41,74 \text{ meses} = 3,48 \text{ años} = 3 \text{ años } 5 \text{ meses } 23 \text{ días}$$

El resultado obtenido es positivo ya que el Periodo de Retorno de la Inversión es menor a 5 años, lo cual es el límite que se tenía para la aceptación del proyecto. Con lo cual, la empresa aceptará su implantación y todo se desarrollará como se esperaba.

10. Riesgos del proyecto.

Los **riesgos de un proyecto** representan la posibilidad de que un **evento inesperado** afecte a la organización, **influyendo negativamente en las actividades normales o impidiendo que las cosas se realicen de acuerdo a lo planeado**. Es necesario tenerlos en cuenta para **anticipar posibles problemas**, ya sea para **evitarlos** o para **estar preparados para actuar y resolver** eficientemente cualquier tipo de contratiempo.

Un proyecto de automatización industrial como este, puede conllevar riesgos si no se toman las precauciones necesarias o se cae en malas prácticas. En este punto se van a presentar algunos problemas y fallos estratégicos que se deben tener en cuenta para evitar riesgos al desplegar la automatización en la empresa, y cómo afrontarlos.

Riesgo	Descripción	Cómo afrontarlo
Falta de optimización en los procesos que se van a automatizar	Es común ver que, antes de implementar la automatización de un proceso, nadie se asegura de que ese proceso es el óptimo para la tecnología que se va a implantar o de que los datos transmitidos a Moontech sean correctos. No dedicar suficiente tiempo a alinear y armonizar los procesos de antemano es una de las razones más comunes por las que no se aprovecha el valor potencial de la tecnología implantada.	Si el proceso objeto de automatización no está optimizado o los datos transmitidos son erróneos, la empresa estaría gastando dinero de una manera ineficiente, dado que una optimización previa podría implicar la eliminación o mejora de acciones que requieren un esfuerzo considerable. Por ello se debe realizar un estudio riguroso del proceso, teniendo en cuenta la tecnología que se va a implantar, antes de contratar el servicio.
Comunicación deficiente entre las partes interesadas	Una mala comunicación y transmisión de la información entre Moontech y la empresa cliente, podría dar resultados indeseados para ambas partes. La empresa podría obtener soluciones inadecuadas, y Moontech, dedicar recursos en vano, que posteriormente tendrían que dedicarse a resolver la situación.	La empresa cliente debe de transmitir adecuadamente el resultado que quiere obtener, y Moontech transmitir las posibles soluciones que admite el proceso, y aquellas que no. Esto requiere una comunicación constante durante la implantación entre ambas partes, implicando reuniones semanales para comentar avances y posibles problemas o cambios en el alcance.
Complacencia ante la automatización	Una vez implementada la automatización en un proceso, se podría caer en la tentación de ver dicho proceso como una solución definitiva. Los procesos evolucionan, aparecen problemas, necesidades y condiciones que los cambian constantemente.	Una vez implementada la automatización, hay que continuar controlándola y buscando acciones de mejora. Por ello, las herramientas de monitorización de datos que facilita Moontech no deben servir solo para controlar posibles contingencias, si no que los datos almacenados deben analizarse periódicamente, de forma que se puedan encontrar mejoras en los procesos y soluciones preventivas a las contingencias encontradas.
Interrupciones en la cadena de suministro	Una transición desde los métodos de transporte tradicionales como son las carretillas y los AMR supone la realización de pruebas y comprobaciones en los flujos de trabajo existentes, lo cual podrían provocar interrupciones en la cadena de suministro y afectar temporalmente la eficiencia y la productividad.	Para que el trabajo de Moontech interfiera lo menos posible en la producción habitual de la fábrica durante la implantación de los vehículos, será necesario que la empresa cliente informe de la planificación de fabricación diaria de la fábrica, de forma que facilite la realización de pruebas y otras acciones a realizar en aquellas máquinas que no estén operativas en un determinado momento, o que facilite una solución que permita a Moontech realizar las acciones necesarias interfiriendo lo menor posible.
Fallos técnicos	El riesgo de fallos técnicos en los vehículos es posible, ya que los AMR dependen de sistemas y tecnología compleja innovadora que todavía se encuentra en proceso de investigación y mejora. Se podrían dar problemas en los sistemas de navegación, sensores defectuosos o fallas en la conectividad que pueden afectar la operatividad de los vehículos y requerir tiempo y recursos para su reparación.	Moontech ofrece la contratación de un servicio postventa con diferentes niveles de disponibilidad para la realización de mantenimientos preventivos o asumir posibles problemas técnicos. En caso de que sea la propia empresa la que decida realizar el mantenimiento de los equipos, esta perdería la garantía ofrecida por el fabricante. Por su parte, la empresa deberá mantener los equipos en buen estado, realizando una limpieza periódica y cuidadosa de los sensores.
Riesgos de ciberseguridad	La conexión de los vehículos con otros sistemas mediante el uso de tecnologías de comunicación puede incrementar el riesgo de ciberataques dirigidos a los vehículos y al resto de sistemas.	Será de gran importancia que, tanto Moontech como la empresa cliente implemente medidas de seguridad robustas para proteger los AMR y garantizar la integridad y confidencialidad de los datos. Por su parte, Moontech, establecerá una segmentación en la conectividad de los vehículos con los sistemas de la fábrica para un trabajo aislado de estos, evitando que fuentes externas puedan acceder, el acceso a la red estará securizado y, además, Moontech cuenta con los protocolos de alerta y actuación en caso de un incidente de este tipo.
Enfado de los trabajadores	Un proyecto de automatización en una fábrica suele traer problemas con los trabajadores, quienes temen por la integridad de su puesto de trabajo al poder ser sustituidos por las máquinas.	La empresa debe ser capaz de mostrar a los trabajadores un punto de vista tranquilizador en cuanto a su futuro. La empresa puede optar por reentrenar y reorganizar a los operarios en otras áreas de la fábrica. Además, en este caso, ya se ha comentado que surgirá una nueva figura, el pastor, encargado del control y solución de contingencias de los AMR, para lo cual Moontech ofrecerá formación.

Accidentes	Aunque los AMR son muy seguros gracias a todos los sensores y láseres que incorporan, se podría dar el caso de que una persona que se mueve por la fábrica sin prestar atención, ocupe una zona de tránsito de los AMR, justo en ese momento pase uno de ellos y choque por no haber tenido tiempo para reaccionar al obstáculo.	La empresa deberá prohibir el tránsito de personas por las zonas de tránsito de los AMR, así como marcar en el suelo áreas rojas en zona de desactivación de láseres, como son las entradas a las ubicaciones de carga-descarga. Además, todos los empleados de la fábrica deben recibir formación específica para la convivencia con esta nueva tecnología y en cuanto a prevención de riesgos laborales.
-------------------	--	--

Tabla 24. Descripción de los riesgos del proyecto y recomendaciones preventivas.
Fuente: Elaboración propia.

Bill Gates dice: "La primera regla de cualquier tecnología es que la automatización aplicada a una operación eficiente aumentará la eficiencia. El segundo es que la automatización aplicada a una operación ineficiente aumentará la ineficiencia" (Jeston, 2009).

Ilustración 23. Cita de Bill Gates acerca de la eficiencia de la automatización.
Fuente: <https://albatian.com/es/blog/antes-de-automatizar-un-proceso-mejoralo/>

A continuación, se muestra una **valoración de los riesgos** descritos en cuanto a probabilidad y gravedad para la empresa cliente, obteniendo posteriormente la matriz de clasificación de los riesgos en cuanto a impacto:

Nº	Riesgo	Probabilidad	Gravedad
1	Falta de optimización en los procesos que se van a automatizar	Casi seguro	Significativa
2	Comunicación deficiente entre las partes interesadas	Moderado	Mayor
3	Complacencia ante la automatización	Raro	Menor
4	Interrupciones en la cadena de suministro	Poco probable	Severa
5	Fallos técnicos	Moderado	Severa
6	Riesgos de ciberseguridad	Raro	Severa
7	Enfado de los trabajadores	Moderado	Significativa
8	Accidentes	Probable	Severa

Tabla 25. Matriz de valoración de los riesgos.
Fuente: Elaboración propia.

		Gravedad				
		Insignificante	Menor	Significativa	Mayor	Severa
PROBABILIDAD	Casi seguro			1		
	Probable					8
	Moderado			7	2	5
	Poco probable					4
	Raro		3			6

Tabla 26. Matriz de clasificación de los riesgos en cuanto a impacto.
Fuente: Elaboración propia.

Cómo se puede ver, la matriz de clasificación muestra en rojo los riesgos que pueden provocar un mayor impacto durante y tras la implantación del proyecto por lo que la empresa deberá poner especial atención en establecer las medidas preventivas propuestas por Moontech, o aquellas que considere, para anticiparse y disminuir las probabilidades de que lleguen a ocurrir. Y tampoco olvidarse del resto de riesgos, **dedicarles la atención que les corresponda en función de su impacto.**

11. Impacto ambiental.

La **reducción del consumo de energía** en los **procesos industriales** se ha convertido en una palanca más dentro de la **estrategia medioambiental y de sostenibilidad** de las empresas, y en esto, la **robótica juega un rol determinante.**

La utilización de robots para la automatización de plantas industriales forma parte del desarrollo de la **tendencia conocida como e-factory**, que provee **mejoras a la productividad, la calidad, la protección ambiental y la seguridad**, aumentando así el valor intrínseco de la propia industria.

La progresiva automatización industrial ha permitido **trasladar mano de obra hacia procesos que aportan mayor valor añadido**, al mismo tiempo que **simplificar las condiciones ambientales**, de iluminación o de temperatura que el ser humano necesita para desarrollar sus tareas. Esto se debe a que los robots pueden desarrollar su labor en condiciones de temperatura extremas, en ambientes cargados de toxicidad ambiental, en espacios sin iluminación y, en general, en zonas en las que cualquier operario necesitaría unas mínimas condiciones de trabajo que absorben energía y recursos.



Ilustración 24. Automatización y robótica, sinónimos de sostenibilidad.

Según datos del Eurostat, en 2019, el 24,5% del consumo total de energía provenía de las industrias, muy cerca del 25,5% que se registra en el conjunto de la Unión Europea. Sin embargo, la digitalización y, sobre todo, la **robotización y la automatización de procesos asociadas a la Industria 4.0** cuentan con multitud de **ventajas** que han permitido a las empresas abordar una **optimización de recursos y de consumos** para mejorar su rentabilidad e incrementar su sostenibilidad. Algunas de estas ventajas se detallan en la siguiente tabla.

AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	
VENTAJA	DESCRIPCIÓN
Robots cada vez más eficientes	Un proyecto de automatización industrial tiene el potencial de reducir en gran medida las emisiones de gases de efecto invernadero ya que los robots son capaces de realizar una actividad de una forma mucho más eficiente que los humanos. Además, la apuesta por la sostenibilidad y la eficiencia ha llevado a los principales fabricantes de soluciones automatizadas a producir robots cada vez más eficientes, que ofrecen mayor rendimiento con un consumo energético más bajo.
Mayor precisión y seguridad en los procesos productivos	La robótica y la automatización ofrecen niveles de precisión que reducen al mínimo el riesgo asociado al factor humano, y eso se traduce en una tasa mínima de producto defectuoso o desechado y, por lo tanto, una mayor eficiencia energética. Además, la reducción del fallo humano, puede evitar riesgos por accidentes que podrían provocar incendios, o emisiones descontroladas.
Monitorización	Los robots colaborativos, actualmente, cuentan con medidores que controlan los efectos que su actividad tienen en el entorno: temperatura de emisión de gases, productos desechados, etc., lo cual permite comprobar de forma inmediata cualquier pérdida de eficiencia o un aumento injustificado del consumo de energía, que suele llevar a averías. La monitorización que incorporan las soluciones actuales evita paradas de producción no programadas, averías de gran envergadura y consumos excepcionales.
Mínima generación de residuos	La precisión que proporcionan estas máquinas aportan un mayor aprovechamiento de los recursos reduciendo así la cantidad de desechos generados y gastando menos materias primas, lo cual permite incrementar el aprovechamiento de materiales y, por lo tanto, aumentar la sostenibilidad ambiental.
Condiciones ambientales flexibles	Los robots pueden operar en condiciones ambientales o de temperatura mucho más extremas que las que se necesitan en una línea de producción manual, con el ser humano como protagonista. Los robots operan con sistemas de sensores o de guiado que no requieren condiciones especiales de iluminación, de forma que pueden trabajar durante las 24 horas del día, sin importar si es de día o de noche. Estas condiciones se traducen en un ahorro considerable de energía, combinado con un aumento de la productividad y la reducción de tiempos de espera, entre otras muchas ventajas.
Seguridad laboral	Los robots utilizados incorporan una gran capacidad de carga de elevación, lo que permite evitar que los trabajadores deban llevar a cabo tareas con ciertos riesgos para su salud, como todas aquellas que sean tediosas, repetitivas y poco ergonómicas con cargas pesadas. Esto repercute en una mejor calidad de vida, mayor seguridad laboral en sus puestos de trabajo y menos bajas médicas.

Tabla 27. Ventajas medioambientales de la automatización industrial.

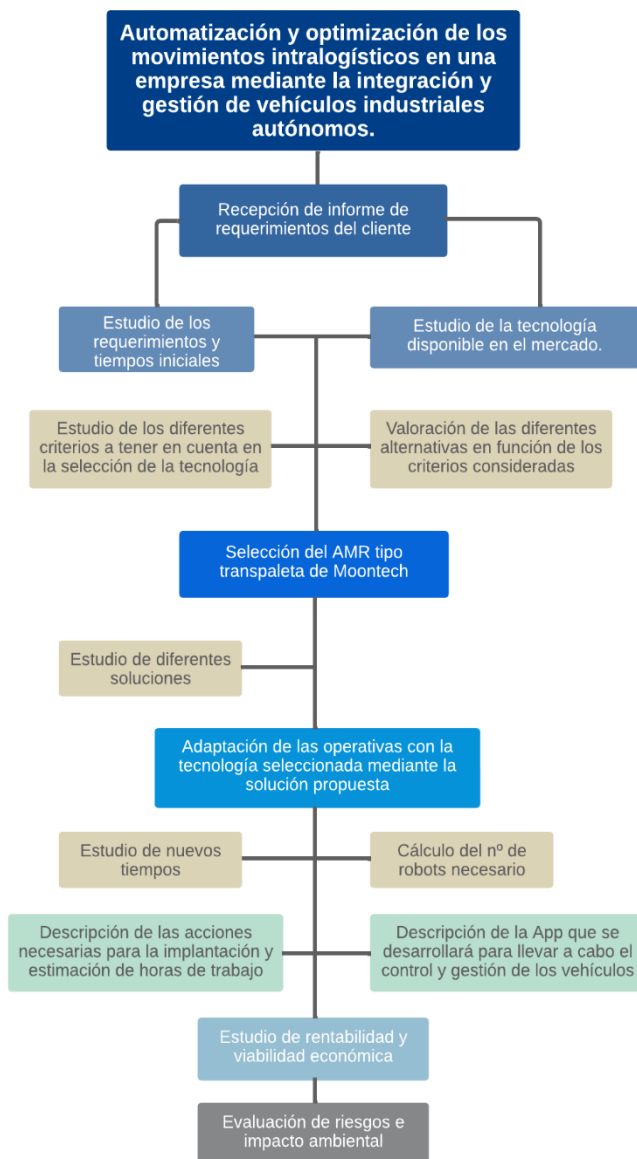
Fuente: Elaboración propia.

Además, existen ventajas relacionadas con el uso de energías renovables que además de contribuir a la sostenibilidad del planeta, suponen importantes ahorros económicos para las empresas. Todos estos beneficios convierten a la **automatización y la robótica en dos de los principales aliados del desarrollo sostenible**.

12. Conclusiones y líneas futuras.

Ante la continua necesidad de las empresas de **mejorar su eficiencia y productividad**, ya son muchas las que optan por una automatización de sus procesos para poder seguir siendo competitivas con el resto de empresas de su sector. Ya lo decía la famosa frase “Renovar o morir”, que, aplicándolo a este caso sería, “**Automatizar o morir**”. Y este ha sido el caso de la empresa en la cual se ha llevado a cabo este proyecto, **anticipándose** y convirtiéndose en una **empresa pionera en España en automatizar sus procesos intralogísticos** mediante **27 AMR** tipo **transpaleta** contando con **Moontech Industrial Solutions, S.L.U.** como **proveedor e implantador** de esta tecnología.

Así pues, cumpliendo con los objetivos, se ha realizado el **estudio completo y dado los primeros pasos de la automatización de los movimientos intralogísticos de esta empresa**, tal y como se muestra en el esquema inferior.



Esquema 14. Pasos seguidos en el desarrollo del proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, se han obtenido **múltiples beneficios propios de la automatización industrial:**

- Generación de **estabilidad y robustez** en el **sistema de producción**, ya que las tecnologías de automatización no presentan fallos inesperados como son los fallos humanos.
- Mejora de la **eficiencia y productividad**.
- **Eliminación de buffers intermedios, reduciendo el almacenaje** de material y **ganando espacio** en la fábrica.
- **Reducción de costes**. En 5 años los costes acumulados serán un **30,42% menores** a que si se hubiese mantenido la situación inicial.
- **Flexibilidad y disponibilidad** de la producción: cantidades necesarias en el momento preciso. Aunque los **tiempos** de los diferentes movimientos han **aumentado entre un 2 y un 130%**, con la implantación de los AMR se ha conseguido ajustarlos más al proceso de forma que los **operarios de producción** tengan un **% menor de tiempos muertos**.
- Reducción de riesgos por **accidentes laborales** y mejora de **condiciones de trabajo** por incremento de la seguridad del personal, gracias a la cantidad de láseres y sensores de los vehículos.
- Eficiencia del **uso de energía**.

Además, **Moontech** acompaña a la empresa durante todo el proceso de automatización actuando tanto de **implantador** de la tecnología como de **consultor en cuanto a mejoras a incluir en siguientes fases** de la automatización no consideradas en el alcance de una primera definición del proyecto.

Una de las mejoras que se han identificado hasta ahora es, por ejemplo, ofrecer a la empresa una **herramienta para restringir zonas de tránsito de los AMR**. En un inicio, el AMR recibe en la tarea a realizar un punto de origen y uno de destino, siendo el propio vehículo el que decide que ruta tomar en función de la cercanía y el tráfico. Pero, ¿qué pasaría si en un determinado momento un pasillo o una zona de la fábrica quedase cortada por obras, por ejemplo? Esta herramienta permitiría al control room de la empresa o al pastor la **posibilidad de deshabilitar estos pasillos o zonas**, de forma que el vehículo buscase otra ruta para llegar al punto de destino.

Así pues, tras la implantación de la primera fase de automatización, Moontech quedará a disposición de la empresa para añadir mejoras, futuras ampliaciones o cambios del proyecto que necesiten una intervención por parte del equipo de implantación y/o el equipo de desarrollo.

Por el momento, aunque la **ampliación del proyecto relativa al altillo** que supondrá una ampliación del almacén con una serie de estanterías, para abordar el almacenamiento de las piezas de un nuevo modelo de automóvil, no se había considerado en un inicio, dado que la empresa decidió contar ya con los equipos necesarios, la estimación del coste adicional que esto supondrá ya se ha considerado en esta primera fase, sin embargo, se ha explicado poco de los **nuevos retos** que esto supondrá para Moontech. A continuación, se muestra un flujograma de uno de los retos, la operativa del traslado de embalajes desde la planta baja de la fábrica hasta el altillo y viceversa, para lo cual será necesaria la **conexión entre AMR y ascensor**, a través de RDS, y la conexión entre ascensor y Backend.

13. ANEXOS.

Anexo I. Estudio de tiempos de la situación inicial.

Para realizar el cálculo del tiempo estimado entre la retirada y suministro de un embalaje se han tenido en cuenta las distancias de la siguiente tabla:

Distancia	Descripción
A	Distancia entre máquina/puesto de montaje y almacén
a	Distancia entre flejadora y almacén
f	Distancia entre máquina/puesto de montaje y flejadora
M	Distancia entre máquina y puesto de montaje
b	Distancia entre máquina/puesto de montaje y zona de buffer

Por otro lado, se han considerado los tiempos de carretillero que aparecen en la siguiente tabla:

Acción	Tiempo [seg]
Posicionamiento antes de carga/descarga de embalajes	15
Carga de embalaje	20
Descarga de embalaje	30
Búsqueda de embalajes en almacén	60

Y, considerando una velocidad de traslado de **2,5 m/s** sin carga y de **2 m/s** con carga (**velocidad máxima permitida en interiores = 2,77 m/s**) se han obtenido los siguientes resultados para cada una de las operativas iniciales:

Retirada-suministro de embalajes con destino almacén	
Acción	Tiempo [seg]
Posicionamiento antes de carga	15
Carga lleno	20
Traslado hasta almacén (con carga)	$A[m]/2[m/s]$
Posicionamiento antes de descarga	15
Descarga lleno	30
Búsqueda de embalaje vacío	60
Posicionamiento antes de carga	15
Carga vacío	20
Traslado hasta ubicación de máquina (con carga)	$A[m]/2[m/s]$
Posicionamiento antes de descarga	15
Descarga vacío	30
TOTAL	220 + A

Retirada-suministro de embalajes con destino almacén y flejado intermedio	
Acción	Tiempo [seg]
Posicionamiento antes de carga	15
Carga lleno	20
Traslado hasta flejadora (con carga)	$f[m]/2[m/s]$
Posicionamiento antes de descarga	15
Descarga lleno	30
Traslado hasta almacén (sin carga)	$a[m]/2,5[m/s]$
Búsqueda de embalaje vacío	60
Posicionamiento antes de carga	15
Carga vacío	20
Traslado hasta ubicación de máquina (con carga)	$A[m]/2[m/s]$
Posicionamiento antes de descarga	15
Descarga vacío	30
TOTAL	220 + 0,5f + 0,4a + 0,5A

Retirada-suministro de embalajes con destino almacén y zona de buffer intermedia	
Acción	Tiempo [seg]
Posicionamiento antes de carga	15
Carga lleno	20
Traslado hasta zona de buffer (con carga)	$b[m]/2[m/s]$
Posicionamiento antes de descarga	15
Descarga lleno	30
Posicionamiento antes de carga	15
Carga vacío	20
Traslado hasta ubicación de máquina (con carga)	$b[m]/2[m/s]$
Posicionamiento antes de descarga	15
Descarga vacío	30
TOTAL	160 + b

Retirada-suministro de embalajes con destino almacén, flejado intermedio y zona de buffer intermedia	
Acción	Tiempo [seg]
Posicionamiento antes de carga	15
Carga lleno	20
Traslado hasta zona de buffer (con carga)	$b[m]/2[m/s]$
Posicionamiento antes de descarga	15
Descarga lleno	30
Posicionamiento antes de carga	15
Carga vacío	20
Traslado hasta ubicación de máquina (con carga)	$b[m]/2[m/s]$
Posicionamiento antes de descarga	15
Descarga vacío	30
TOTAL	160 + b

Retirada-suministro de embalajes con destino montaje y buffer intermedio de vacíos	
Acción	Tiempo [seg]
Posicionamiento antes de carga	15
Carga lleno	20
Traslado hasta puesto de montaje (con carga)	$M[m]/2[m/s]$
Posicionamiento antes de descarga	15
Descarga lleno	30
Traslado hasta buffer de vacíos (sin carga)	$b1[m]/2,5[m/s]$
Posicionamiento antes de carga	15
Carga vacío	20
Traslado hasta ubicación de máquina (con carga)	$b2[m]/2[m/s]$
Posicionamiento antes de descarga	15
Descarga vacío	30
TOTAL	160 + 0,5M + 0,4b1 + 0,5b2

Retirada-suministro de embalajes de componentes	
Acción	Tiempo [seg]
Posicionamiento antes de carga	15
Carga vacío	20
Traslado hasta almacén (con carga)	$A[m]/2[m/s]$
Posicionamiento antes de descarga	15
Descarga lleno	30
Búsqueda de embalaje lleno	60
Posicionamiento antes de carga	15
Carga vacío	20
Traslado hasta ubicación de máquina (con carga)	$A[m]/2[m/s]$
Posicionamiento antes de descarga	15
Descarga vacío	30
TOTAL	220 + A

Anexo II. Vehículos Industriales Autónomos. Tipos y características.

Los vehículos industriales autónomos, comúnmente conocidos como AGV, son aquellos que están diseñados para operar de forma independiente, sin la necesidad de intervención humana directa en su funcionamiento. Estos vehículos utilizan tecnologías avanzadas, como sensores, sistemas de navegación y algoritmos de control, para realizar tareas específicas dentro de entornos industriales o logísticos. Tienen sus inicios en la década de 1950 y año tras año se han ido mejorando e implementando nuevas funciones, incorporándose al sector industrial y siendo cada vez uno de los pilares más importantes en la logística y trabajo en fábrica, ya que proporcionan una gran flexibilidad, mejoran la eficiencia del trabajo y evitan riesgos en seguridad laboral del personal ante tareas potencialmente peligrosas.



Para implementar AGV en una planta industrial se ha de ser conocedor de la normativa y seguridad de estos. La normativa aplicable actual a nivel europeo es la norma ISO EN1525 y a nivel estadounidense la norma ANSI / ITSDF B56.5.

Algunos de los elementos de seguridad que suelen tener estos sistemas son:

- Botones de parada de emergencia
- Sistemas anticolidión
- Señales acústicas
- Señales visuales
- Distancia de seguridad variable respecto a la velocidad de movimiento

Dentro de los distintos componentes en un vehículo industrial autónomo: motor, mecánica, batería, sistema de control, sistema de seguridad... cabe destacar la importancia del **sistema de guiado** utilizado. Existen distintos tipos de sistemas de guiado, es decir sistemas que hacen saber al robot por donde debe moverse, donde se incluyen más componentes como sensores o elementos externos al propio vehículo para el reconocimiento del entorno. Sin embargo, en función de la aplicación y tipos de cargas para la que se van a utilizar estos vehículos, también será muy importante su **método de carga y transporte**.

A continuación, se describen cada uno de los tipos de vehículos existentes para cada uno de los dos tipos de clasificación:

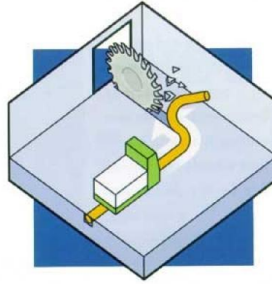
CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL SISTEMA DE GUIADO

• Filoguiado

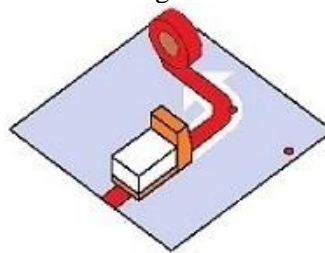
Los vehículos industriales autónomos con método de navegación filoguiada, suelen denominarse AGV (Autonomous Guided Vehicles) y son aquellos que utilizan una ruta o trayectoria física predefinida para moverse de manera autónoma. Dentro de este tipo de navegación se pueden encontrar dos métodos: cableado y cinta guía.

El método del **cableado** consiste en insertar en el suelo un hilo conductor que trace el camino deseado. Por otro lado, el AGV constará de un vástago que hará contacto con el hilo y de esta manera reconocerá el camino

a seguir. La principal desventaja de este método es que se debe realizar previamente la instalación del hilo y por lo tanto se pierde flexibilidad.



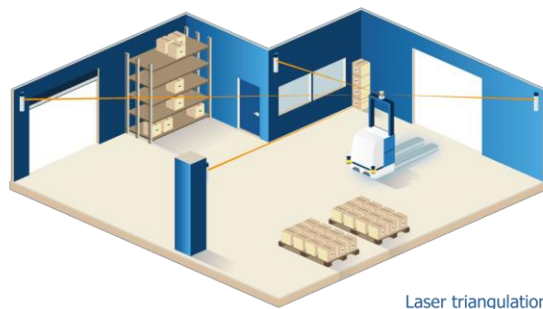
El método de **cinta guía** consiste en colocar en el suelo una cinta, ya sea magnética o de colores, que trace el camino deseado de manera que el AGV mediante sensores pueda detectarlo y seguir su camino. Este método permite modificar las trayectorias al recolocar la cinta, pero tiene el riesgo de acabar dañándose o ensuciándose, haciendo imposible al AGV reconocer el camino a seguir.



- **Navegación por objetivo láser**

Los vehículos industriales autónomos con método de navegación por objetivo láser, comúnmente conocidos como LGV (Laser Guided Vehicles), se caracterizan por utilizar tecnología láser para detectar y reconocer objetos y obstáculos en su entorno. Para su movimiento, el LGV llevará instalados un transmisor y un receptor láser giratorios y la zona de trabajo estará marcada por cinta reflectante en posiciones fijas como paredes o postes. De esta forma, el sistema de navegación triangula la posición del LGV comparándola con la ruta programada en el mapa de diseño del reflector y ajustando la dirección en consecuencia.

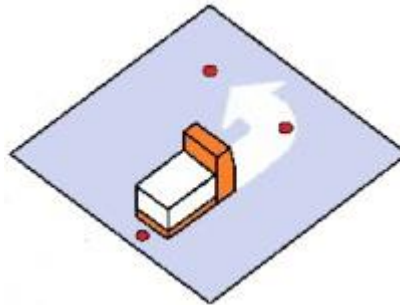
Es una tecnología de alto coste, pero permite una instalación rápida y no conlleva gastos de mantenimiento. Existen dos tipos de láser, pulsados y modulados, siendo los modulados los que proporcionan un mayor alcance y precisión.



- **Navegación inercial u Optoguiado**

Los vehículos industriales autónomos con método de navegación inercial, también conocido como optoguiado, son comúnmente conocidos como IGVs (Intelligent Guided Vehicles), y se basan en la utilización de sensores inerciales, como acelerómetros y giroscopios, para determinar su posición y orientación en el espacio. Estos sensores miden los cambios en la velocidad y la dirección del vehículo, permitiendo así calcular su desplazamiento y movimiento.

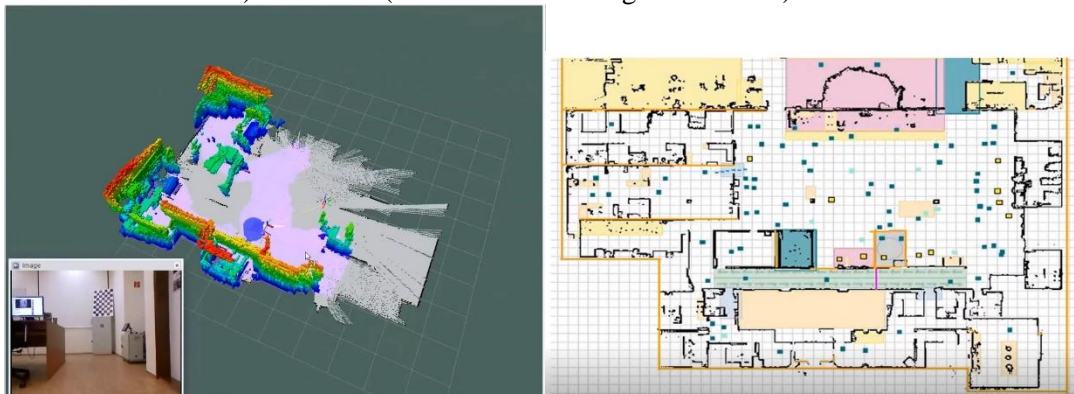
Para el funcionamiento de este sistema se deben colocar unos discos magnéticos en el suelo mediante perforaciones de 12 mm de diámetro y 20 mm de profundidad. Un giroscopio instalado en el IGV es capaz de detectar el más mínimo cambio en la dirección del vehículo y corregirlo para mantener el AGV en su camino, pudiendo llegar hasta los 2mm de tolerancia en su trayectoria. La principal ventaja de este sistema respecto a otros es su flexibilidad y reducido coste de re-configuración, pudiendo además funcionar en pasillos estrechos o temperaturas extremas.



- **Navegación natural**

Los vehículos industriales autónomos con método de navegación natural se caracterizan por utilizar tecnologías que les permiten navegar y operar de manera autónoma en entornos complejos y cambiantes, como almacenes, fábricas o centros logísticos. Actualmente se trata del sistema de navegación más avanzado ya que no necesita la instalación de elementos externos como cinta, o señales.

Su navegación consiste en la lectura continua del entorno a través de un sistema de visión, para mapeado en 3D, o un sonar o LIDAR (Light Detection and Ranging), para mapeado en 2D, que permite al vehículo crear mapas para conocer su posición. Este tipo de navegación es conocida como SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Dentro de este tipo de navegación se pueden encontrar dos tipos de vehículos: los AMR (Autonomous Mobile Robots) o los AIV (Autonomous Intelligent Vehicles).



Su puesta en marcha se basa en llevar el vehículo de forma manual por la zona creando así un mapa del entorno y posteriormente indicarle mediante un software las zonas de trabajo y restricciones consideradas, como por ejemplo zonas restringidas, así como programar las acciones que va a tener que realizar en cada zona.

Los **AMR** necesitan el diseño previo de las rutas virtuales en el mapa del entorno creado tras el mapeado, pudiendo incorporar en ellas restricciones como velocidad máxima, direccionalidad, etc. de forma que el vehículo no podrá salirse de dichas rutas, lo cual proporciona un alto grado de seguridad y control sobre ellos, siendo más recomendados en aquellos entornos en los que se va a implantar una flota con un gran número de estos vehículos.

Por el contrario, los **AIV** no necesitan la creación previa de estas rutas, sino que, tras el mapeado, indicándoles un punto de origen, y uno de destino, sería el propio vehículo el que determinase la ruta a seguir, pudiendo incluso esquivar obstáculos que se encuentre en su camino. El problema de este tipo de vehículos es el menor control que se puede tener sobre sus movimientos, siendo recomendados en entornos muy cambiantes que

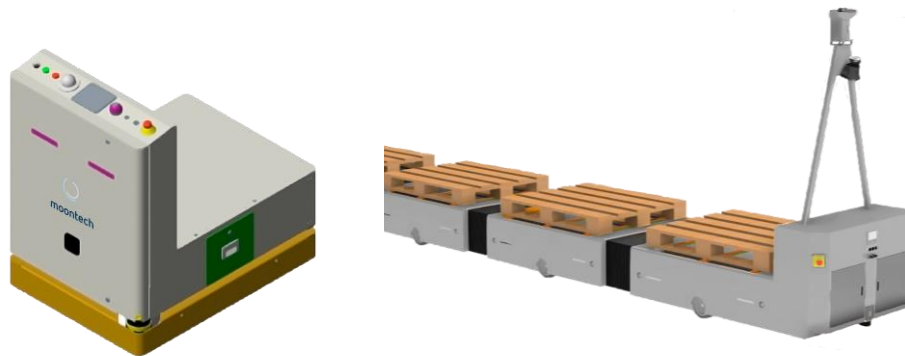
requieran un alto grado de flexibilidad, o entornos en los que se va a implantar una flota con un menor número de vehículos.



CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL MÉTODO DE CARGA Y TRANSPORTE

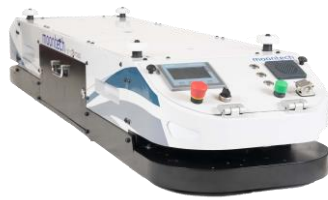
- **Vehículos de remolque**

Los vehículos de remolque o remolcadores fueron los primeros que se fabricaron y siguen siendo muy populares en la actualidad. Estos vehículos son capaces de tirar de carros mediante un enganche accionado y sus capacidades de carga van desde los 900 kg hasta las 70 toneladas. Para el traslado de las cargas suelen utilizar plataformas elevables o abatibles, rodillos motorizados o correas, por ejemplo. Estos tipos de vehículos son comunes en circuitos automatizados con ubicaciones de paradas predeterminadas y en el transporte de materiales en distancias largas.



- **Vehículos de carga unitaria**

Los vehículos de carga unitaria AGV, también conocidos como AGC (Automated Guided Carts) o AGV de Túnel, están equipados con plataformas que permiten el transporte de una sola unidad de carga como puede ser un palé o un contenedor con productos. Gracias a su reducida altura se puede colocar debajo de la carga a transportar. En función del peso y volumen de la carga, la unión entre ésta y el AGV puede ser con gancho o Pin-hook (entre 100 kg y 3000 kg), siendo necesario que la carga a trasladar lleve ruedas, o con plataforma elevadora, pudiendo soportar pesos mayores y no siendo necesario que la carga lleve ruedas. Estos vehículos suelen utilizarse en sistemas de almacenamiento y distribución, y trayectorias cortas.



- **Transpaletas**

Los vehículos industriales autónomos tipo transpaleta están diseñados para transportar cargas paletizadas a nivel del suelo. Dependiendo del tamaño de la carga, el vehículo será más grande o más pequeño. Estos vehículos pueden trasladar cargas de hasta 2500 kg siendo los más pequeños capaces de operar en pasillos estrechos y los más grandes capaces de levantar cargas de más de mil kilos a alturas de hasta 13 metros.



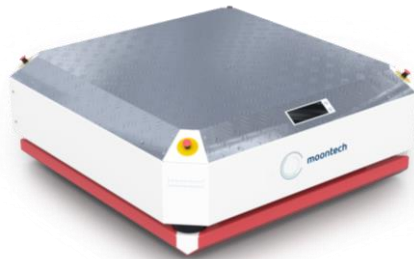
- **Vehículos híbridos.**

Los vehículos industriales autónomos híbridos son la adaptación de un camión estándar a un camión autónomo, pudiendo funcionar de forma automática o conducidos por un conductor de carretilla elevadora. Este tipo de vehículos puede adaptarse para transportar cualquier tipo de carga y suelen utilizarse para la carga de remolques o el movimiento de materiales alrededor de los almacenes.



- **Carga ligera**

Los vehículos industriales autónomos de carga ligera son vehículos con capacidades de carga pequeñas, cercanas a los 220 kilos o menos, y suelen utilizarse en áreas de espacio limitado.



- **Vehículos de línea de ensamblaje.**

Los vehículos industriales autónomos de línea de ensamblaje son la adaptación de los de de carga ligera para aplicaciones de procesos de ensamblaje en serie. Son muy versátiles ya que se pueden utilizar en líneas donde las trayectorias y ubicaciones de la carga a trasladar pueden modificarse sin suponer un gran coste.



Anexo III. Aplicación del método AHP para el establecimiento de prioridades en los criterios de selección.

El método Analytic Hierarchy Process (AHP), propuesto por Thomas Saaty en 1980 es un método cuantitativo para la toma de decisiones multicriterio que permite generar escalas de prioridades basándose en juicios expertos manifestados a través de comparaciones por pares mediante una escala de preferencia, como es la de la siguiente tabla.

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

En primer lugar, se realiza una valoración por pares entre los criterios del nivel 1, obteniendo la llamada matriz de decisión:

A\B	C.Técnicos	C.Operacionales	C.Estratégicos
C.Técnicos	1	2	5
C.Operacionales	1/2	1	3
C.Estratégicos	1/5	1/3	1
Total	1,70	3,33	9,00

Esta matriz debe cumplir las propiedades de reciprocidad (si $a_{ij}=x$, entonces $a_{ji}=1/x$), homogeneidad (si i y j son igualmente importantes, $a_{ij}=a_{ji}=1$, y además, $a_{ii}=1$ para todo i), y consistencia (la matriz no debe contener contradicciones en la valoración realizada).

La consistencia se obtiene mediante el índice de consistencia (Consistency Index, CI) donde λ_{max} es el máximo autovalor y n es la dimensión de la matriz de decisión.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Para hallar el valor λ_{max} , se calcula la matriz normalizada, dividiendo el valor de cada celda por la suma total de la columna, y se obtiene el vector de ponderación de dicha matriz realizando el promedio de los valores de cada una de las filas:

MATRIZ NORMALIZADA			PONDERACIÓN
0,59	0,60	0,56	0,58
0,29	0,30	0,33	0,31
0,12	0,10	0,11	0,11

Multiplicando las filas de la matriz inicial (A) por el vector de ponderación, se obtiene el vector B y dividiendo cada elemento del vector B por su correspondiente valor del vector de ponderación se obtiene el vector C. El valor buscado (λ_{max}) será el promedio de los 3 elementos de ese vector C.

B=AxP	C=B/P
1,75	3,00637181
0,93	3,00352361
0,33	3,00119284
PROMEDIO (λ_{max})	3,00369609

Por tanto, $\lambda_{\max}=3,003$ y $CI= 0,001848044$. Una vez obtenido el índice de consistencia, se obtiene la proporción de consistencia (Consistency Ratio, CR):

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Donde RI es el índice aleatorio, que indica la consistencia de una matriz aleatoria:

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Al ser la matriz 3x3, RI=0,58 y por tanto la proporción de consistencia resulta:

$$CR = \frac{0,001848044}{0,58} = 0,319\%$$

Este valor se acepta siempre que no supere los valores indicados en la siguiente tabla:

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia
3	5%
4	9%
5 o mayor	10%

Las comparaciones realizadas poseen una subjetividad aceptable ya que $0,319\% < 5\%$. Por lo tanto, las prioridades de los criterios del nivel 1 son las que se muestran en la siguiente tabla:

C.Técnicos	58%
C.Operacionales	31%
C.Estratégicos	11%

Una vez establecidas las prioridades de los criterios del nivel 1, se pasa a aplicar el método AHP de la misma forma para los subcriterios de cada uno de los criterios principales.

• CRITERIOS TÉCNICOS

A\B	Seguridad	Método de posicionamiento de la carga	Área	Radio de giro
Seguridad	1	2	5	7
Método de posicionamiento de la carga	1/2	1	3	5
Área	1/5	1/3	1	2
Radio de giro	1/7	1/5	1/2	1
SUMA	1,84	3,53	9,5	15

MATRIZ NORMALIZADA				PONDERACIÓN
0,54	0,57	0,53	0,47	0,53
0,27	0,28	0,32	0,33	0,30
0,11	0,09	0,11	0,13	0,11
0,08	0,06	0,05	0,07	0,06

B=AxP		C=B/P
2,12		4,04
1,21		4,03
0,44		4,01
0,25		4,01
	PROMEDIO (λ_{max})	4,02

Por tanto, $\lambda_{max}=4,02$ y $CI= 0,006714042$. Al ser la matriz 4x4, $RI=0,9$ y por tanto la proporción de consistencia resulta:

$$CR = \frac{0,006714042}{0,9} = 0,75\%$$

Las comparaciones realizadas poseen una subjetividad aceptable ya que $0,75\% < 9\%$. Por lo tanto, las prioridades de los subcriterios técnicos son las que se muestran a continuación.

Seguridad	53%
Método de posicionamiento de la carga	30%
Área	11%
Radio de giro	6%

• **CRITERIOS OPERACIONALES.**

A\B	Autonomía	Velocidad	Capacidad	Precisión	Movimientos	Comunicación
Autonomía	1	7	5	3	2	4
Velocidad	1/7	1	1/3	1/5	1/5	1/4
Capacidad	1/5	3	1	1/3	1/4	1/2
Precisión	1/3	5	3	1	1/2	2
Movimientos	1/2	5	4	2	1	3
Comunicación	1/4	4	2	1/2	1/3	1
SUMA	2,42	25	15,33	7,03	4,28	10,75

MATRIZ NORMALIZADA						PONDERACIÓN
0,41	0,28	0,33	0,43	0,47	0,37	0,38
0,06	0,04	0,02	0,03	0,05	0,02	0,04
0,08	0,12	0,07	0,05	0,06	0,05	0,07
0,14	0,20	0,20	0,14	0,12	0,19	0,16
0,21	0,20	0,26	0,28	0,23	0,28	0,24
0,10	0,16	0,13	0,07	0,08	0,09	0,11

B=AxP		C=B/P
2,39		6,27
0,22		6,08
0,42		6,06
1,02		6,23
1,54		6,31
0,65		6,14
	PROMEDIO (λ_{max})	6,17

Por tanto, $\lambda_{max}=6,17$ y $CI= 0,034442787$. Al ser la matriz 6x6, $RI=1,24$ y por tanto la proporción de consistencia resulta:

$$CR = \frac{0,034442787}{1,24} = 2,78\%$$

Las comparaciones realizadas poseen una subjetividad aceptable ya que $2,78\% < 10\%$. Por lo tanto, las prioridades de los subcriterios operacionales son las que se muestran a continuación.

Autonomía	38%
Velocidad	4%
Capacidad	7%
Precisión	16%
Movimientos	24%
Comunicación	11%

• **CRITERIOS ESTRATÉGICOS**

A\B	Precio	Modificación de infraestructura	Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	Flexibilidad frente a modificaciones del layout
Precio	1	4	2	3
Modificación de infraestructura	1/4	1	1/3	1/2
Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	1/2	3	1	2
Flexibilidad frente a modificaciones del layout	1/3	2	1/2	1
SUMA	2,08	10	3,83	6,5

MATRIZ NORMALIZADA				PONDERACIÓN
0,48	0,4	0,52	0,46	0,46
0,12	0,1	0,09	0,08	0,09
0,24	0,3	0,26	0,31	0,27
0,16	0,2	0,13	0,15	0,16

B=AxP
1,89
0,39
1,12
0,65

C=B/P
4,05
4,02
4,04
4,02
PROMEDIO (λ_{max})
4,03

Por tanto, $\lambda_{max}=4,03$ y $CI= 0,010346501$. Al ser la matriz 4x4, $RI=0,9$ y por tanto la proporción de consistencia resulta:

$$CR = \frac{0,010346501}{0,9} = 1,15\%$$

Las comparaciones realizadas poseen una subjetividad aceptable ya que $1,15\% < 9\%$. Por lo tanto, las prioridades de los subcriterios estratégicos son las que se muestran a continuación.

Precio	47%
Modificación de infraestructura	10%
Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	28%

Flexibilidad frente a modificaciones del layout 16%

Finalmente, una vez obtenidas las prioridades de cada uno de los criterios y subcriterios, se calculan las prioridades globales que se aplicaran a cada uno de los factores a considerar en la selección:

Criterios	Prioridades	Subcriterios	Prioridades locales	Prioridades globales
Criterios técnicos	58%	Seguridad	53%	30,54%
		Método de posicionamiento de la carga	30%	17,49%
		Área	11%	6,42%
		Radio de giro	6%	3,68%
Criterios operacionales	31%	Autonomía	38%	11,77%
		Velocidad	4%	1,13%
		Capacidad	7%	2,16%
		Precisión	16%	5,04%
		Movimientos	24%	7,54%
		Comunicación	11%	3,27%
Criterios estratégicos	11%	Precio	47%	5,10%
		Modificación de infraestructura	10%	1,05%
		Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	28%	3,04%
		Flexibilidad frente a modificaciones del layout	16%	1,77%

Anexo IV. Escala utilizada y valoración de los diferentes tipos de vehículos en función de los criterios considerados.

SUBCRITERIO	VALOR	DESCRIPCIÓN
Seguridad	1	El vehículo no cuenta con ningún sensor para la detección de obstáculos
	2	El vehículo cuenta con sensores de detección de obstáculos solo en su parte delantera o la capacidad de detección de sus sensores se puede ver afectada por factores internos e incontrolables.
	3	El vehículo cuenta con sensores en su parte delantera y en su parte trasera o la capacidad de detección de sus sensores se puede ver afectada por factores externos controlables.
	4	El vehículo cuenta con sensores en su parte delantera, trasera y laterales o la capacidad de detección de sus sensores puede verse afectada por daños reparables en su sistema de guiado.
	5	El vehículo cuenta con sensores en su parte delantera, trasera, laterales y en altura, y puede adaptarse a todo tipo de situaciones y obstáculos.
Método de posicionamiento de la carga	1	El vehículo requiere un rediseño completo de los embalajes que se van a trasladar.
	2	El vehículo se adapta a un 25% de los embalajes que se van a trasladar o su capacidad de maniobrar para la carga y descarga en cualquier posición y orientación es baja.
	3	El vehículo se adapta a un 50% de los embalajes que se van a trasladar o su capacidad de maniobrar para la carga y descarga en cualquier posición y orientación es media.
	4	El vehículo se adapta a un 75% de los embalajes que se van a trasladar o su capacidad de maniobrar para la carga y descarga en cualquier posición y orientación es alta.
	5	El vehículo se adapta al traslado de todo tipo de embalajes y puede maniobrar sin problema para la carga y descarga en cualquier posición y orientación.
Área	1	El vehículo ocupa más de 2 m ² .
	2	El vehículo ocupa entre 1,5 y 2 m ² .
	3	El vehículo ocupa entre 1 y 1,5 m ² .
	4	El vehículo ocupa entre 0,5 y 1 m ² .
	5	El vehículo ocupa menos de 0,5 m ² .
Radio de giro	1	El radio de giro del vehículo es mayor de 1,5 m o el espacio que ocupa en el giro es muy grande.
	2	El radio de giro del vehículo es de entre 1 y 1,5 m o el espacio que ocupa en el giro es grande.
	3	El radio de giro del vehículo es de entre 0,5 y 1 m o el espacio que ocupa en el giro es medio.
	4	El radio de giro del vehículo es menor de 0,5 m pero mayor de 0 m o el espacio que ocupa en el giro es bajo.
	5	El radio de giro del vehículo es de 0 m, es decir, gira sobre sí mismo o el espacio que ocupa en el giro es bajo.
Autonomía	1	El vehículo requiere supervisión constante por parte de operadores humanos.
	2	El vehículo requiere siempre supervisión por parte de operadores humanos en ciertas tareas.
	3	El vehículo puede funcionar de forma autónoma en condiciones predefinidas pero requieren intervención humana en todas las situaciones imprevistas.
	4	El vehículo puede funcionar de forma autónoma en condiciones predefinidas y puede hacer frente a situaciones imprevistas, pero puede requerir intervención humana en algunos casos.
	5	El vehículo puede funcionar de forma autónoma en condiciones predefinidas y puede hacer frente a todo tipo de situaciones imprevistas.
Velocidad	1	La máxima velocidad del vehículo es menor de 5 km/h.
	2	La máxima velocidad del vehículo es de entre 5 y 15 km/h.
	3	La máxima velocidad del vehículo es de entre 15 y 25 km/h.
	4	La máxima velocidad del vehículo es de entre 25 y 35 km/h.
	5	La máxima velocidad del vehículo es 35 km/h o mayor.
Capacidad	1	La capacidad máxima del vehículo es menor de 500 kg.
	2	La capacidad máxima del vehículo es de entre 500 y 3000 kg.
	3	La capacidad máxima del vehículo es de entre 3000 y 10000 kg.
	4	La capacidad máxima del vehículo es de entre 10000 y 70000 kg.
	5	La capacidad máxima del vehículo es de más de 70000 kg.
Precisión	1	La precisión de los movimientos del vehículo es mayor de ± 100 mm.
	2	La precisión de los movimientos del vehículo es de entre ± 50 mm y ± 100 mm.
	3	La precisión de los movimientos del vehículo es de entre ± 10 mm y ± 50 mm.
	4	La precisión de los movimientos del vehículo es de entre ± 5 mm y ± 20 mm.
	5	La precisión de los movimientos del vehículo es menor de ± 5 mm.
Movimientos	1	El vehículo solo es capaz de trasladar la carga de forma lineal, en la dirección de su movimiento traslacional y a la altura a la que se sitúa la carga en el vehículo.
	2	El vehículo es capaz de trasladar la carga de forma lineal, en la dirección de su movimiento traslacional y elevar la carga hasta una altura menor o igual a 100 mm.
	3	El vehículo es capaz de trasladar la carga de forma lineal, en la dirección de su movimiento traslacional y elevar la carga hasta una altura de entre 100 y 1000 mm.
	4	El vehículo es capaz de trasladar la carga de forma lineal, en la dirección de su movimiento traslacional y elevar la carga hasta una altura de entre 1000 y 2000 mm.
	5	El vehículo es capaz de trasladar la carga de forma lineal, en la dirección de su movimiento traslacional y elevar la carga hasta una altura mayor de 2000 mm.
Comunicación	1	El vehículo dispone de comunicación unidireccional, es decir, solo puede recibir comandos y no puede proporcionar información adicional.
	2	El vehículo dispone de comunicación bidireccional básica, es decir, puede enviar y recibir información básica, como su ubicación o estado de carga.

	3	El vehículo dispone de comunicación bidireccional avanzada, es decir, puede enviar y recibir información más detallada, como datos de sensores o información de diagnóstico.
	4	El vehículo dispone de comunicación en red, es decir, vehículos que pueden comunicarse entre sí y con otros dispositivos en una red, como sensores y sistemas de control de tráfico.
	5	El vehículo dispone de comunicación avanzada en tiempo real, es decir, vehículos que pueden comunicarse en tiempo real y coordinarse en la realización de tareas complejas, utilizando una variedad de sensores y sistemas de comunicación.
Precio	1	Precio muy alto.
	2	Precio alto.
	3	Precio medio.
	4	Precio bajo.
	5	Precio muy bajo.
Modificación de infraestructura	1	El vehículo necesita la instalación de una guía física en el entorno que requiere obras mayores como la perforación del suelo.
	2	El vehículo necesita la instalación de una guía física en el entorno que requiere una modificación significativa de la infraestructura, pero no requiere obras mayores.
	3	El vehículo necesita la instalación de una guía física en el entorno que requiere una modificación menos significativa de la infraestructura y no requiere obras mayores.
	4	El vehículo no necesita la instalación de una guía física en el entorno pero requiere la instalación de sensores o cámaras.
	5	El vehículo puede funcionar en la infraestructura existente sin necesidad de modificaciones significativas.
Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	1	El vehículo tiene una baja flexibilidad, está diseñado para realizar movimientos simples y repetitivos con una frecuencia constante.
	2	El vehículo tiene una mayor flexibilidad para realizar diferentes tareas y adaptarse a cambios en la frecuencia de movimientos gracias a su capacidad de programación, sin embargo, su reprogramación es compleja y requiere mucho tiempo.
	3	El vehículo tiene una mayor flexibilidad para realizar diferentes tareas y adaptarse a cambios en la frecuencia de movimientos gracias a su capacidad de programación. Su reprogramación es sencilla y no requiere mucho tiempo.
	4	El vehículo tiene un sistema de aprendizaje automático que le permite aprender y adaptarse a diferentes tareas y cambios en la frecuencia de movimientos de manera autónoma.
	5	El vehículo tiene un sistema avanzado de inteligencia artificial para aprender y adaptarse a diferentes tareas y cambios en la frecuencia de movimientos en tiempo real.
Flexibilidad frente a modificaciones del Layout	1	El vehículo está diseñado para trabajar en un entorno específico y no puede adaptarse a cambios en el layout. Requiere una planificación cuidadosa del diseño del layout antes de su implantación.
	2	El vehículo puede adaptarse a cambios menores del layout, como pequeñas variaciones en las posiciones de las estaciones de trabajo, pero esto puede requerir ciertos ajustes en su programación o configuración.
	3	El vehículo puede reconfigurarse fácilmente para diferentes aplicaciones y requerimientos pero los cambios a los que puede adaptarse son limitados.
	4	El vehículo puede reprogramarse para seguir diferentes rutas o para cambiar su velocidad o trayectoria en función de la disposición de los elementos fijos del entorno.
	5	El vehículo está equipado con sistemas avanzados de inteligencia artificial y aprendizaje automático, lo que le permite adaptarse de manera autónoma a cambios en el layout y mejorar su eficiencia al mismo tiempo.

En las siguientes tablas se muestra la valoración de cada uno de los criterios considerados para cada una de las opciones utilizando la escala descrita en la tabla anterior.

CRITERIOS TÉCNICOS		Seguridad	Método de posicionamiento de la carga	Área	Radio de giro
NAVEGACIÓN	Filoguiado	4	2	4	3
	Objetivo láser	3	3	5	4
	Inercial	2	3	2	4
	Natural (AMR)	5	5	3	5
	Natural (AIV)	5	5	3	5
MÉTODO DE CARGA Y TRASLADO	Remolque	4	4	1	2
	Carga unitaria	5	3	3	3
	Transpaleta	5	5	2	4
	Híbrido	3	3	1	1
	Carga ligera	5	2	4	5
	Línea de ensamblaje	5	1	1	2

CRITERIOS OPERACIONALES		Autonomía	Velocidad	Capacidad	Precisión	Movimientos	Comunicación
NAVEGACIÓN	Filoguiado	3	4	2	3	1	2
	Objetivo láser	4	3	3	5	1	3
	Inercial	3	2	4	4	1	1
	Natural (AMR)	4	1	5	4	1	5
	Natural (AIV)	5	1	5	2	1	5
MÉTODO DE CARGA Y TRASLADO	Remolque	2	5	4	4	1	3
	Carga unitaria	3	2	2	5	1	3
	Transpaleta	4	1	2	4	5	3
	Híbrido	2	5	5	3	1	5
	Carga ligera	3	3	1	5	1	2
	Línea de ensamblaje	5	4	3	5	1	4

CRITERIOS ESTRATÉGICOS		Precio	Modificación de infraestructura	Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	Flexibilidad frente a modificaciones del layout
NAVEGACIÓN	Filoguiado	5	2	1	1
	Objetivo láser	4	3	2	2
	Inercial	3	1	3	3
	Natural (AMR)	2	5	3	4
	Natural (AIV)	1	5	4	4
MÉTODO DE CARGA Y TRASLADO	Remolque	3	4	3	3
	Carga unitaria	3	4	2	2
	Transpaleta	4	5	3	4
	Híbrido	2	3	4	4
	Carga ligera	5	5	3	5
	Línea de ensamblaje	1	1	1	1

Anexo V. Tecnología SLAM.

La tecnología SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) es una técnica mediante la cual un robot o un dron genera un mapa de un entorno al recorrerlo, incluso cuando éste es desconocido para él, determinando a su vez su posición con exactitud. Se basa en el **funcionamiento conjunto** de tecnologías como **cámaras, láseres o radares**, con **algoritmos de procesamiento de datos** como la visión artificial o visión por computador, **LiDAR** (Light Detection and Ranging) y **radar**, las cuales aportan los datos necesarios a un algoritmo de inteligencia artificial para realizar **dos tareas fundamentales** de manera simultánea:

1. **Localización:** Determinar la posición y orientación de un agente móvil en tiempo real a medida que se desplaza por un entorno desconocido. Esto implica estimar el movimiento y la trayectoria del agente en relación con el mapa en construcción.
2. **Mapeo:** Construir y actualizar un mapa del entorno desconocido a medida que el agente se mueve por él. Esto implica identificar y posicionar objetos, obstáculos y características del entorno en el mapa.

Las **ventajas** de la tecnología SLAM son:

1. **Autonomía:** Permite a los robots o agentes móviles navegar de manera autónoma en entornos desconocidos sin la necesidad de mapas previos o información externa.
2. **Precisión y robustez:** Los algoritmos SLAM han evolucionado para lograr una mayor precisión y capacidad de adaptación a diferentes condiciones y tipos de entornos, lo que permite construir mapas más detallados y confiables.
3. **Versatilidad:** La tecnología SLAM se puede implementar utilizando diferentes tipos de sensores, como cámaras, láseres o radares, lo que la hace adaptable a diversas aplicaciones y entornos.
4. **Aplicaciones amplias:** SLAM encuentra aplicaciones en diversos campos, como la robótica móvil, los vehículos autónomos, la realidad aumentada, la navegación en interiores, la cartografía, la inspección industrial, entre otros.
5. **Tiempo real:** Los sistemas SLAM están diseñados para operar en tiempo real, lo que permite obtener información actualizada sobre la ubicación y el entorno en tiempo casi instantáneo.

Esta tecnología se encuentra en pleno crecimiento, pero ya se encuentra implementada en algunas plataformas. La caída del precio de los sensores LiDAR que requiere y la versatilidad de sus aplicaciones está despertando el interés de empresas de muchos sectores diferentes. Además, las mejoras que se están realizando en su software incrementarán su precisión, lo cual hará que el hardware necesario sea menor y a más bajo coste, haciéndolo más accesible.




Se trata de un recurso muy poderoso a la hora de actualizar la cartografía de ciudades o cualquier escenario ya que facilita la detección de incongruencias entre la información recogida previamente y la realidad que ha observado SLAM. Esto la hace muy útil para observar cómo ha evolucionado un lugar o para detectar elementos anormales concretos. Además, es aplicable a interiores, realizando inspecciones de todo tipo, como las relacionadas con la seguridad y la prevención de riesgos laborales, o midiendo los diferentes espacios.

En resumen, SLAM es una tecnología fundamental para que los robots y los agentes móviles puedan explorar y navegar en entornos desconocidos, construyendo mapas precisos y manteniendo una estimación confiable de su propia ubicación.

Anexo VI. Ficha técnica del vehículo industrial autónomo seleccionado.

SRC-powered SFL-CDD14
Laser SLAM
Small stacker
automatic forklift

- **High precision**
Pallet recognition and accurate handling
- **Flexible dispatching**
Seamless access to dispatching system
- **Real Laser SLAM**
No reflector, easy to deploy





+34 976 588 391
info@moontech-industrial.com

Specifications

Basic specifications

Model designation	SFL-CDD14
Power unit	Electric
Operation	Telecontrol/Laser navigation
Rated load capacity	1400kg
Load center	600mm
Axle centre to fork face	648mm
Wheelbase (fork raised/lowered)	877mm

Weight

Weight (including battery)	680kg
Axle load with load, drive/load side	730/1350kg
Axle load without load drive/load side	450/230kg

Wheel

Tyre, operator/load side: Rubber(R), polyurethane(PU)	Polyurethane
Tyre size, drive side	Ø230 × 75mm
Tyre size, load side	Ø80 × 54mm
Tyre size, balancing side	Ø115 × 55mm
Wheels number, drive/load side (x=driven)	1x-2/4
Track width, drive side	380/500mm
Track width, load side	530mm

Basic dimensions

Mast retracted height (total height)	2040mm
Lifting height	1600mm
Mast expansion height	2130mm
Minimum height of forks from the ground	85mm
Navigation scan height	2000mm
Center height of charging port	500mm
Total length	1565mm

Basic dimensions

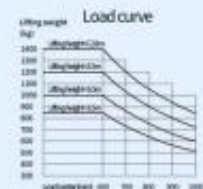
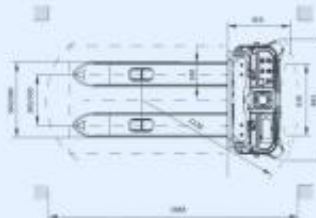
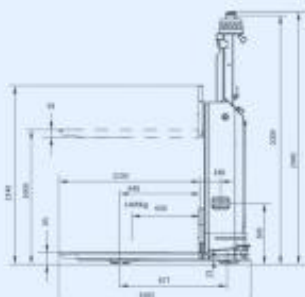
Body length (without fork)	416mm
Charging port center distance, front end of shelving	180mm
Total width	882mm
Fork size (length/width/height)	1150/180/55mm
Outer width of fork	560/680 (note 1)
Minimum ground clearance	30mm
Aisle width, 1000x1200mm pallet crosswise	1885mm
Aisle width, 800x1200mm pallet lengthwise	1685mm
Minimum turning radius	1130mm

Other specifications

Driving velocity, with/without load	5/6km/h
Rising velocity, with/without load	115/170mm/s
Dropping velocity, with/without load	160/125mm/s
Climbing ability (S2, 5 min), with/without load, 5 min rating	3/5%
Braking method	Electromagnetic
Driving motor power	1.25kw
Lifting motor power	3kw
Steering motor power	0.165kw
Battery type	Lithium iron phosphate battery
Battery charge and discharge cycles	>2500次
Battery voltage/rated capacity(5h)	24/180Ah
Battery weight	58kg
Driving control method	AC motor speed feedback
Cab noise level, according to EN12053	<70 dB(A)

The parameters of the standard forklift will vary according to the actual equipment.
1. (Note 1) 560 is standard width. 680 is customized width.

Dimension



Anexo VII. Estudio de tiempos en la nueva situación.

Para realizar el cálculo del tiempo estimado entre la retirada y suministro de un embalaje se han tenido en cuenta las distancias de la siguiente tabla:

Distancia	Descripción
PD	Distancia entre máquina/puesto de montaje y zona de posiciones dedicadas del almacén
MC	Distancia entre máquina/puesto de montaje y zona multi-contenedor del almacén
F	Distancia entre máquina/puesto de montaje y nueva posición de flejadora
M	Distancia entre máquina y puesto de montaje
b	Distancia entre máquina/puesto de montaje y zona de buffer

Por otro lado, se han considerado los siguientes tiempos para cada una de las acciones que tendrán que realizar los AMR:

Acción	Tiempo [seg]
Elevar/bajar uñas una altura ($h \leq 0,4$ m)	5
Elevar/bajar uñas dos alturas ($0,4$ m < $h \leq 0,8$ m)	10
Elevar/bajar uñas tres alturas ($0,8$ m < $h \leq 1,2$ m)	15
Entrar a la posición de carga/descarga	40
Salir de la posición de carga/descarga	15

Y, teniendo en cuenta una velocidad de traslado tanto con carga, como sin carga de 0,9 m/s (aplicando un factor de corrección de 0,7 a la velocidad máxima dado que en curvas y zonas de mucho tránsito el AMR reducirá su velocidad), los resultados obtenidos para cada una de las operativas son los siguientes:

Retirada-suministro de embalajes con destino zona de posiciones dedicadas del almacén			
Retirada	Tiempo [seg]	Suministro	Tiempo [seg]
Elevar uñas una altura	5	Elevar uñas tres alturas	15
Entrar en la posición de carga	40	Entrar en la posición de carga	40
Elevar uñas una altura	5	Elevar uñas una altura	5
Salir de la posición de carga	15	Salir de la posición de carga	15
Bajar uñas una altura	5	Bajar uñas tres alturas	15
Traslado hasta zona de posiciones dedicadas del almacén	PD[m]/0,9[m/s]	Traslado hasta el puesto de trabajo	PD[m]/0,9[m/s]
Entrar en la posición de descarga	40	Entrar en la posición de descarga	40
Bajar uñas una altura	5	Bajar uñas una altura	5
Salir de la posición de descarga	15	Salir de la posición de descarga	15
TOTAL	130 + 1,11PD	TOTAL	150 + 1,11PD
TOTAL ENTRE RETIRADA Y SUMINISTRO			150 + 1,11PD

Retirada-suministro de embalajes con destino zona multi-contenedor del almacén			
Retirada	Tiempo [seg]	Suministro	Tiempo [seg]
Elevar uñas una altura	5		
Entrar en la posición de carga	40		
Elevar uñas una altura	5		
Salir de la posición de carga	15		
Bajar uñas una altura	5		
Traslado hasta zona multi-contenedor del almacén	MC[m]/0,9[m/s]	Elevar uñas una altura	5
Entrar en la posición de descarga	40	Entrar en la posición de carga	40
Bajar uñas una altura	5	Elevar uñas una altura	5
Salir de la posición de descarga	15	Salir de la posición de carga	15
		Bajar uñas una altura	5
		Traslado hasta el puesto de trabajo	MC[m]/0,9[m/s]
		Entrar en la posición de descarga	40
		Bajar uñas una altura	5
		Salir de la posición de descarga	15
TOTAL	130 + 1,11MC	TOTAL	130 + 1,11MC
TOTAL ENTRE RETIRADA Y SUMINISTRO			200 + 1,11MC

Retirada-suministro de embalajes con destino flejadora			
Retirada	Tiempo [seg]	Suministro	Tiempo [seg]
Elevar uñas una altura	5		
Entrar en la posición de carga	40		
Elevar uñas una altura	5		
Salir de la posición de carga	15		
Bajar uñas una altura	5		
Traslado hasta flejadora	F[m]/0,9[m/s]	Elevar uñas una altura	5
Elevar uñas una altura	5	Entrar en la posición de carga	40
Entrar en la posición de carga	40	Elevar uñas una altura	5
Bajar uñas una altura	5	Salir de la posición de carga	15
Salir de la posición de descarga	15	Bajar uñas una altura	5
		Traslado hasta el puesto de trabajo	MC[m]/0,9[m/s]
		Entrar en la posición de descarga	40
		Bajar uñas una altura	5
		Salir de la posición de descarga	15
TOTAL	135 + 1,11F	TOTAL	130 + 1,11MC
TOTAL ENTRE RETIRADA Y SUMINISTRO			200 + 1,11MC

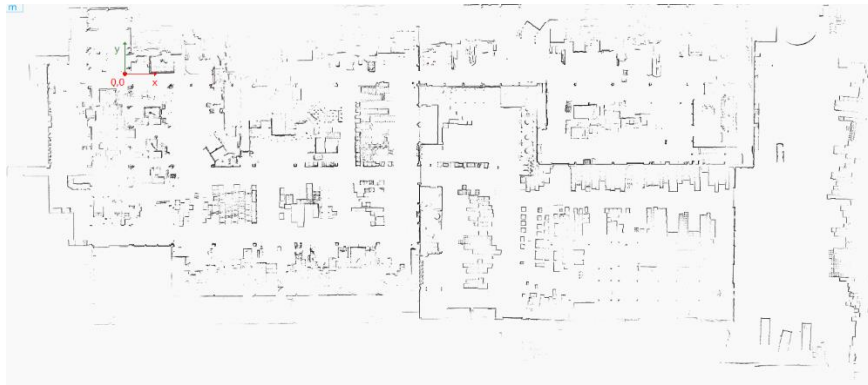
Retirada-suministro de embalajes de componentes			
Retirada	Tiempo [seg]	Suministro	Tiempo [seg]
Elevar uñas una altura	5		
Entrar en la posición de carga	40		
Elevar uñas una altura	5		
Salir de la posición de carga	15		
Bajar uñas una altura	5		
Traslado hasta zona multi-contenedor del almacén	MC[m]/0,9[m/s]	Elevar uñas una altura	5
Entrar en la posición de descarga	40	Entrar en la posición de carga	40
Bajar uñas una altura	5	Elevar uñas una altura	5
Salir de la posición de descarga	15	Salir de la posición de carga	15
		Bajar uñas una altura	5
		Traslado hasta el puesto de trabajo	MC[m]/0,9[m/s]
		Entrar en la posición de descarga	40
		Bajar uñas una altura	5
		Salir de la posición de descarga	15
TOTAL	130 + 1,11MC	TOTAL	130 + 1,11MC
TOTAL ENTRE RETIRADA Y SUMINISTRO			200 + 1,11MC

Retirada-suministro de embalajes con destino montaje y buffer intermedio de vacíos			
Retirada	Tiempo [seg]	Suministro	Tiempo [seg]
Entrar en la posición de carga	40	Entrar en la posición de carga	40
Elevar uñas una altura	5	Elevar uñas una altura	5
Salir de la posición de carga	15	Salir de la posición de carga	15
Traslado hasta zona de montaje	M[m]/0,9[m/s]	Traslado hasta el puesto de trabajo	b[m]/0,9[m/s]
Entrar en la posición de descarga	40	Entrar en la posición de descarga	40
Bajar uñas una altura	5	Bajar uñas una altura	5
Salir de la posición de descarga	15	Salir de la posición de descarga	15
TOTAL	120 + 1,11M	TOTAL	120 + 1,11b
TOTAL ENTRE RETIRADA Y SUMINISTRO			120 + 1,11b

Anexo VIII. Descripción de las acciones a realizar para la integración de los vehículos.

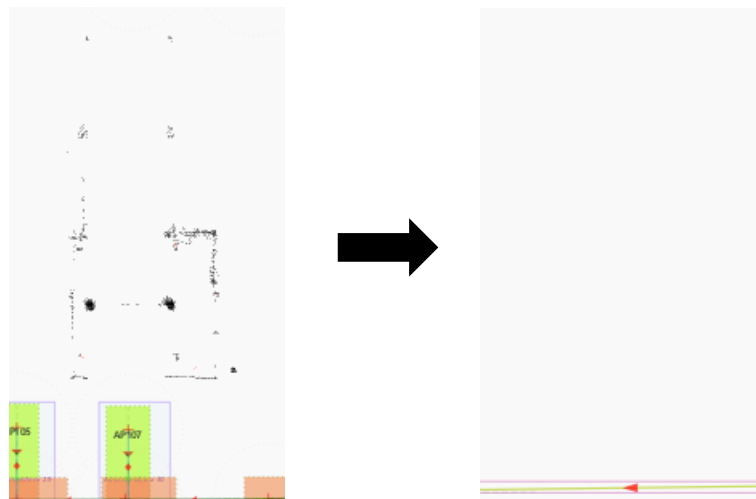
I. Mapeado de la fábrica.

Para que los AMR puedan determinar su posición y moverse de forma autónoma por la fábrica, es necesario un mapeo inicial, que consiste en mover el robot, mediante las teclas AWSD de un ordenador conectado por cable al robot, por todos los pasillos, ida y vuelta, de forma que escanee elementos ubicados en posiciones fijas como pueden ser paredes, columnas, estanterías, etc. y cree un mapa virtual.



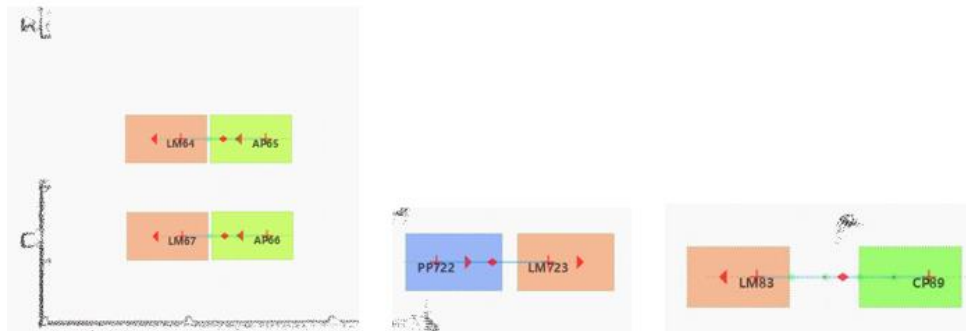
II. Limpieza de elementos móviles.

Una vez se ha obtenido el mapa virtual, será necesario “limpiarlo”, es decir, borrar, mediante la goma del editor, todos los elementos móviles que había en la fábrica en el momento del escaneo, como pueden ser, por ejemplo, embalajes de buffers intermedios que van a desaparecer. Esto es necesario ya que, la precisión en la que los AMR determinan su posición depende de la confianza que tengan con el entorno, es decir, en la adecuación del mapa virtual con el entorno físico real. El rango de esta confianza es entre 0 y 1, y una confianza menor a 0,3 puede producir desconexiones de los AMR con el sistema. El siguiente ejemplo corresponde a la posición donde estaba inicialmente la flejadora:



III. Marcado de ubicaciones y prepuntos

Para que el AMR realice las acciones necesarias en las distintas posiciones de cada una de las máquinas, recargue su batería o espere en una posición determinada la asignación de una orden, es necesario marcar dichas posiciones en el mapa. Para acciones de posicionamiento de uñas se utilizarán ubicaciones LM (Location Mark), para acciones de carga y descarga ubicaciones AP (Action Points), para recarga de batería ubicaciones CP (Charging Point) y para posiciones de espera ubicaciones PP (Parking Points).



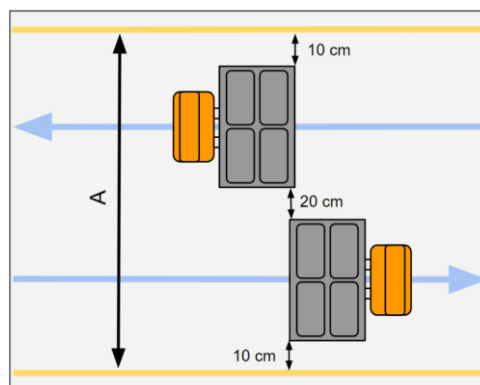
IV. Creación y optimización de las rutas

Una vez marcadas todas las posiciones, será necesario establecer las rutas de los pasillos principales por los que se van a mover los AMR, mediante tramos unidos con ubicaciones LM, y unirlas a las ubicaciones anteriores. Todo ello atendiendo a las características de la fábrica, en cuanto a anchura de pasillos, dimensiones de los contenedores, normativa, optimización de tiempos y tráfico.

Para la creación de las rutas, lo primero que hay que tener en cuenta es la **direccionalidad** de cada uno de los pasillos. Para ello, se deben tener en cuenta un par de reglas que asegurarán la seguridad tanto para las personas como para los vehículos:

1. La distancia de seguridad entre dos vehículos cargados que se cruzan debe ser de, al menos, 20 cm entre carga y carga.
2. La distancia de seguridad entre un vehículo cargado y la parte lateral del pasillo destinada al tránsito de peatones y separada por una línea amarilla debe ser de, al menos, 10 cm entre carga y línea amarilla.

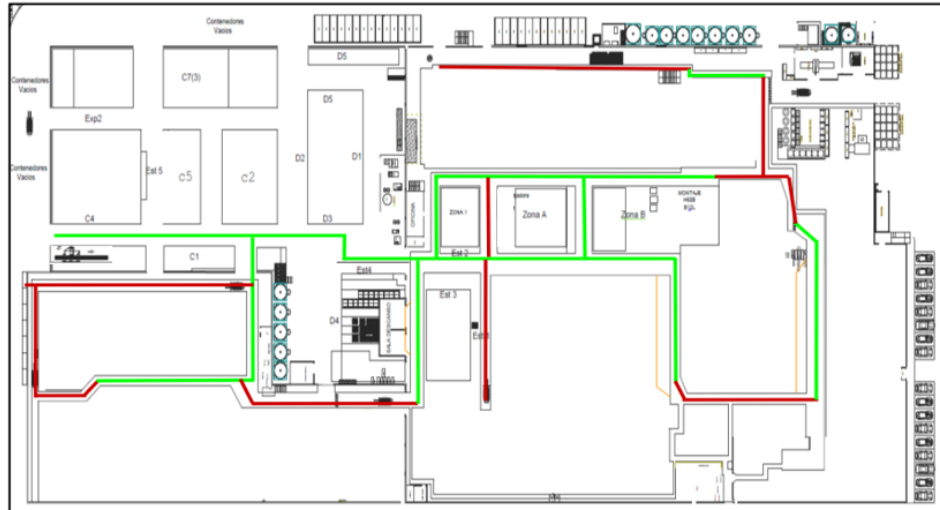
De esta forma, considerando que sobresaldrá en mayor medida de los laterales del vehículo tiene una anchura de 1,6 metros, la condición para que en un pasillo pueda circular dos AMR en sentidos contrarios será que dicho pasillo cuente con una anchura entre línea amarilla y línea amarilla de, al menos, 3,6 metros.



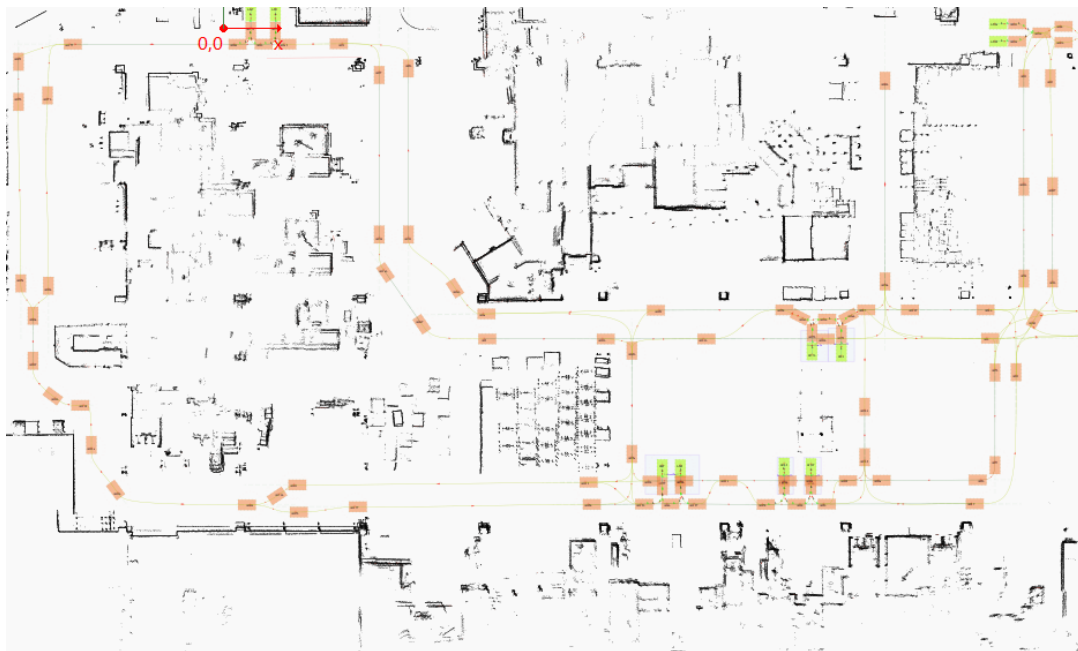
Por tanto, los criterios que se han utilizado para determinar la forma de circulación de los AMR por los pasillos son los siguientes:

Condición	Tipo de pasillo	Circulación AMR	Color
	A < 3,6 m	Los AMR pueden circular de uno en uno por un único carril, pero en ambas direcciones.	
	A > 3,6 m	Los AMR pueden circular por dos carriles diferenciados, pudiendo pasar dos a la vez.	

Lo que, sobre el layout, queda de la siguiente forma:



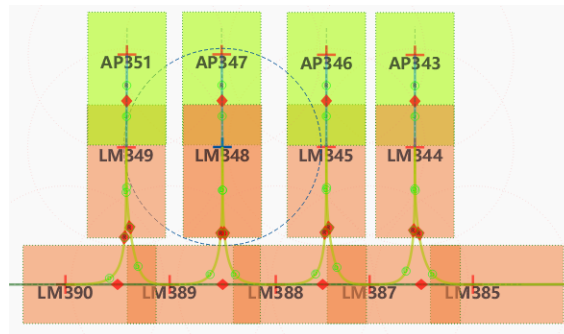
De esta forma, una vez definidos los pasillos, para una primera definición de las rutas se cargará un AMR con el embalaje más ancho y se llevará a mano (con las teclas AWS) por cada uno de los pasillos, procurando que el embalaje quede a 10 cm de las líneas amarillas, y marcando cada una de las rutas en el mapa virtual creado previamente.



En cada una de las rutas se pueden programar atributos como la **velocidad máxima** o la **orientación del movimiento del vehículo**. En cuanto a la velocidad, solo será necesario reducirla en aquellos tramos en los que el vehículo vaya a circular con las uñas hacia adelante (Backward), ya que, la detección de obstáculos es menor. Además, la orientación "Backward", solo se utilizará en el traslado entre un prepunto cercano a una ubicación de carga/descarga y esta ubicación, de forma que el AMR circulará hasta el prepunto con orientación "Forward", girará para posicionarse con las uñas orientadas hacia el embalaje, realizará la elevación de las uñas en caso de que el embalaje se vaya a cargar en altura, y, seguidamente, entrará en la ubicación de carga, con una velocidad de 0,3 m/s, asegurando que el AMR no golpee ni empuje el embalaje que va a cargar.

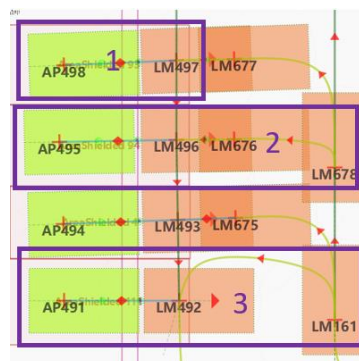
Así pues, en la entrada a ubicaciones de carga habrá que establecer un mayor número de restricciones, y, además, el diseño de estas rutas estará determinado por la disposición del layout y los requerimientos del cliente. En cuanto a la disposición, lo óptimo sería que los prepuntos donde el AMR gira y posiciona uñas

estuviesen fuera de las rutas principales, de forma que las acciones previas y posteriores que debe realizar el robot en una carga/descarga no interfieran en el tránsito de otros vehículos, tal y como se muestra en la siguiente ilustración.



Sin embargo, esto no siempre es posible. Esta empresa tiene muchas de sus ubicaciones de carga/descarga muy próximas a los pasillos, por lo que, se haga lo que se haga, habrá muchas probabilidades de que un robot que va a realizar una carga o una descarga, interfiera en el tránsito de otro que pase por la ruta principal. Por tanto, será muy importante establecer zonas de gestión de tráfico, limitando el número de robots que pueden entrar en cada una de las zonas problemáticas y establecer las prioridades de paso de cada uno de ellos en función de la prioridad de cada una de las operativas.

En la siguiente ilustración se pueden ver 3 diseños de ruta de entrada a ubicaciones de carga de estas características:

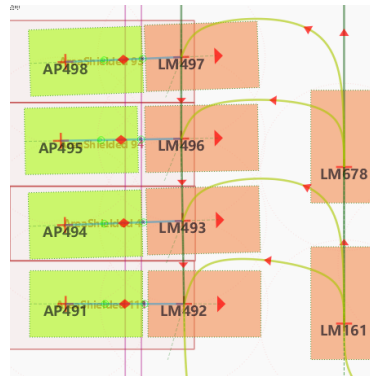


El diseño 1 corresponde a la entrada de un AMR que llega desde la ruta próxima a la ubicación de carga/descarga. Tal y como se puede ver, cuando el AMR llega al prepunto LM497, realiza un giro de unos 90 grados para posicionar sus uñas en orientación al AP498, realizará la elevación de uñas si es necesaria, y entrará a la ubicación de carga/descarga. Este diseño será así en todas las zonas con estas características.

Los diseños 2 y 3 muestran la entrada de un AMR que llega desde la ruta contraria a la ubicación de carga/descarga. Uno de los requerimientos de la empresa es que esto pueda ser así, ya que establecer cambios de sentido en determinadas zonas para entrar siempre como en el diseño 1, provocaría un aumento considerable de los tiempos.

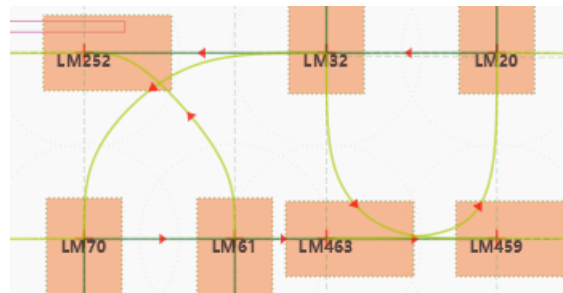
En un inicio se proponía el diseño 2, de forma que el AMR entrase en orientación “Forward” hasta el punto LM676, donde realizaría un giro de 180 grados, interfiriendo lo menos posible en las rutas principales y en la ubicación de carga/descarga (se ha visto que un giro de 180 grados en el prepunto próximo a la ubicación de carga/descarga puede provocar colisión del AMR con el embalaje), posteriormente se trasladaría al LM496, donde realizaría el posicionamiento de uñas antes de entrar a la ubicación de carga/descarga. Sin embargo, el alto número de acciones que debía realizar provocaba un aumento considerable en el tiempo que el cliente no estaba dispuesto a asumir, por lo que se propuso finalmente el diseño 3.

En el diseño 3, el AMR entraría desde el LM161 hasta el prepunto LM492 en orientación “Forward” siguiendo la ruta que se muestra, de forma que las siguientes acciones serán similares a las del diseño 1. El final de la ruta de entrada no se ha dejado paralela a la ruta principal, ya que una curva tan cerrada disminuiría en gran medida la velocidad del robot. Dejando la curva unos 20 grados más abierta, se consigue mantener alta la velocidad del robot hasta su posicionamiento en el prepunto. Por lo tanto, el diseño de las rutas en zonas con estas características quedará de la siguiente forma:

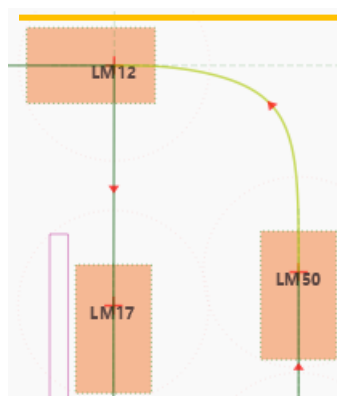


Por último, en zonas que requieran cambios de sentido la utilización de curvas o giros de 90 grados estará determinado por la disposición del layout, y dependerá de las características de cada zona. En general, las consideraciones que se tendrán en cuenta son las siguientes:

1. Los cambios de sentido que requieran pasar de una ruta principal a otra pasando por mitad de un pasillo se realizarán con curvas.

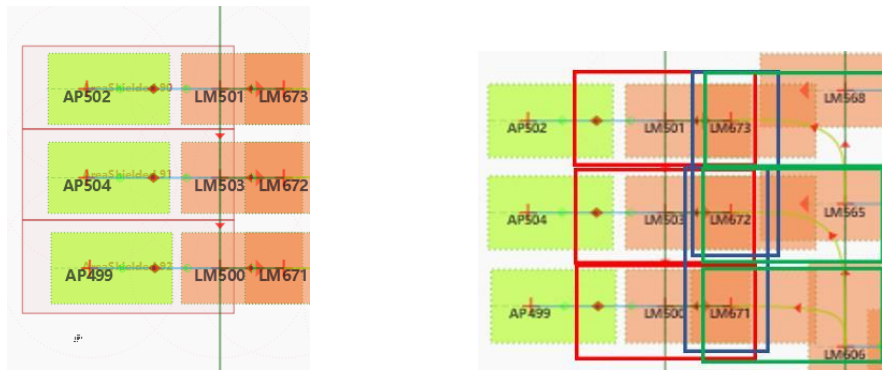


2. Los cambios de sentido que requieren pasar de una ruta principal a otra sin invadir la mitad de un pasillo se realizarán con giros de 90 grados, siempre y cuando la ruta inicial no termine en la zona próxima al lateral del pasillo (el AMR podría pasar de la línea amarilla para realizar el giro de 90 grados, invadiendo la zona de tránsito de peatones). La ruta LM50 → LM12 se realiza con curva porque encima de la ruta paralela a LM12 hay una zona de tránsito de peatones (lateral del pasillo).



V. Establecimiento de restricciones.

Una vez creadas todas las rutas, será necesario realizar un estudio de las zonas problemáticas que puedan producir bloqueos en el tráfico, para añadir las restricciones necesarias. En las ubicaciones de carga/descarga será necesario establecer zonas de desactivación de láseres. Se desactivarán láseres laterales en casos de ubicaciones de carga próximas a otras o a elementos como paredes y columnas, de forma que cuando se vaya a cargar/descargar un embalaje en una de estas ubicaciones, el AMR no detecte los elementos que tiene en sus laterales, que en otro caso bloquearían el movimiento del robot por estar a una distancia menor a la establecida en los parámetros generales del robot. Por otro lado, en rutas cruzadas (cruce de pasillos o rutas de entrada a ubicaciones de carga próximas a rutas principales) será necesario establecer zonas de gestión de tráfico, limitando el número de robots que pueden entrar en cada zona, para que posteriormente, las prioridades establecidas en las diferentes operativas, determine qué AMR cede el paso a cuál.



VI. Simulaciones.

Una vez diseñadas todas las rutas y establecidas las restricciones oportunas, se realizarán simulaciones virtuales mediante la herramienta de gestión de tráfico (RDS+Core), en las cuales se podrá ver si todo se desarrolla como debe y, en caso de visualizar algún bloqueo, realizar las modificaciones necesarias.

VII. Programación de tareas en RDS.

Para la automatización de las diferentes operativas se programarán en RDS las diferentes combinaciones de movimientos que puede tener que realizar en un momento dado cada uno de los AMR. Se considerarán, por un lado, las tareas de retirada y suministro, que implican la carga de un embalaje, posterior traslado y finalmente la descarga de este, por otro lado, tareas que impliquen carga y posterior traslado, sin descarga, o traslado y posterior descarga, sin carga previa (asumiendo que el AMR que la va a realizar ya ha cargado anteriormente un embalaje), y, por último, tareas que solo impliquen traslado, sin carga ni descarga.

VIII. Toma de datos.

Las tareas programadas estarán compuestas por una serie de variables que dependerán de las características de cada máquina (nº de posiciones de retirada/suministro, ubicación AP y prepunto LM correspondientes, altura de carga/descarga de los embalajes, etc). Todos los datos necesarios serán registrados y relacionados en bases de datos del Backend para posteriormente asociarlos, en función de las características de la petición de retirada/suministro, a cada variable de las tareas programadas.

IX. Desarrollo de la App de gestión.

Para la comunicación entre los operarios de producción, los carretilleros del almacén y el pastor con los AMR, será necesario el desarrollo de una aplicación a través de la cual podrán realizar las peticiones, confirmaciones y comprobaciones necesarias en cada momento. Dado que esta es una de las acciones necesarias que mayor valor le da al trabajo de Moontech como empresa encargada de la integración de

vehículos industriales autónomos, las características de esta aplicación se detallarán en el [Apartado 8](#) de la memoria.

X. Pruebas iniciales

Durante el periodo de desarrollo de la aplicación se realizarán pruebas para la validación de los diferentes circuitos. Se validará que las rutas de entrada a cada posición de las máquinas y movimientos que realiza el AMR para ello sean físicamente adecuados, que la carga y descarga en cada posición se realiza correctamente, y que las restricciones establecidas y comprobadas mediante simulaciones virtuales, se cumplen también físicamente.

XI. Puesta en marcha progresiva

Una vez desarrollada la App, se realizará una puesta en marcha progresiva, es decir, se automatizará en primer lugar una de las líneas de fabricación y se observará que las conexiones establecidas entre la App y los AMR funcionan correctamente, y los movimientos realizados por estos son adecuados. Una vez validada dicha línea, se introducirá la siguiente, y así, hasta haber validado todas ellas y su interacción.

Anexo IX. Descripción de las partes involucradas en la App y sus conexiones.

	Función	Conexiones
Frontend	Parte del sitio web que interactúa con los usuarios. La programación de esta parte dará lugar a las diferentes pantallas donde los operarios, carretilleros, etc. de la empresa podrán realizar las diferentes peticiones y acciones necesarias.	Para conseguir la funcionalidad requerida será necesaria la conexión con el Backend .
Backend	Parte del sitio web que se encarga de dar la funcionalidad adecuada a las acciones que se realizan sobre el frontend. Para la funcionalidad requerida en este caso, será necesaria la creación de diferentes bases de datos que, a su vez dependerán de datos obtenidos mediante la conexión con BMS.	Para el lanzamiento de las diferentes tareas será necesaria la conexión con RDS . También se conectará directamente con el AMR para la obtención de información en tiempo real relativa a estos y con el PLC del cobot encargado de llenar los carros en la M25. Además, en el nuevo proyecto del altillo, también será necesaria la conexión con el ascensor que comunica con la planta baja.
BMS	Sistema de control de fabricación que ofrece un concepto modular que proporciona soluciones en tiempo real para la supervisión de las máquinas, gestión de alarmas, planificación de la fabricación e informes, control de calidad, informes y certificados de calidad SPC/SQC, gestión de parámetros de la máquina, trazabilidad, mantenimiento preventivo y control del inventario de las piezas de recambio.	En este caso, este sistema proporcionará al Backend la información necesaria relativa a los productos que se estén fabricando en cada momento en cada una de las máquinas, para posteriormente obtener los datos del resto de variables necesarias.
RDS (+Core)	Sistema de creación y edición de tareas donde se programan las acciones que queremos que realicen los robots en cada momento. Como sistema de capa empresarial, RDS no es independiente, sino que debe estar presente con Core en la solución, que es la capa que asigna los requisitos de tareas con formato estándar a los robots, e impulsa y supervisa todo el proceso de ejecución. A su vez, el Core recibe información de Roboshop, que es la herramienta integral de implementación de escenarios para la creación, edición de mapas y ajuste de los parámetros operativos del robot.	Parte del sitio web que se encarga de conectarse con los AMR para la adjudicación de las diferentes peticiones. También se conecta con el Backend mediante un Script y mediante “GET requests” y “POST requests” en las diferentes tareas programadas.

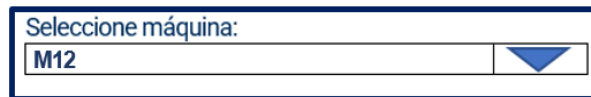
Anexo X. Descripción detallada de las interfaces de gestión de órdenes y monitorización.

A continuación, se va a describir el aspecto visual y la funcionalidad de cada una de las interfaces que se desarrollarán para la gestión y monitorización de los diferentes movimientos internos que tendrán lugar en la fábrica tras la implantación de los AMR.

Interfaz de selección

Esta interfaz se dividirá en dos pantallas. Una de ellas será la de **selección de máquina**, la cual utilizarán los **operarios de producción** al principio del turno de trabajo para seleccionar la máquina en la que están ubicados, aunque, dado que las Tablets utilizadas serán fijas para cada puesto, esta configuración solo será necesaria la primera vez que se utilice cada una de ellas. Una vez seleccionada la máquina, **se cargará desde BMS y se asociará en el Backend toda la información necesaria correspondiente a la orden de fabricación que haya en ese momento** en la máquina seleccionada, para que una vez confirmada la selección, se le redirija al operario a la **pantalla de peticiones correspondiente**.

El formato esperado será una pantalla con un desplegable para la selección de **máquina**, donde se mostrarán todas las máquinas existentes en la base de datos.



The image shows a user interface element for selecting a machine. It consists of a rectangular box with a blue border. Inside the box, the text "Seleccione máquina:" is positioned at the top left. Below this text is a white input field containing the text "M12". To the right of the input field is a small blue downward-pointing triangle, indicating a dropdown menu.

La otra pantalla será la de **selección de operativa manual**, la cual será utilizada por el **pastor** para realizar pruebas o acciones correctivas necesarias, por ejemplo, en casos en los que alguno de los AMR al que se le haya asignado alguna operativa lanzada de forma automática desde la pantalla de peticiones, haya sufrido un bloqueo en mitad de la ejecución.

El formato esperado será una pantalla con **entre 3 y 6 desplegables**, en función de la combinación seleccionada. A continuación, se muestra una ilustración del aspecto visual de cada una de las combinaciones posibles, y la descripción y detalles de cada una de las tareas asociadas, así como las variables "inputs" necesarias en cada una de ellas.

Seleccione origen:	
Máquina	▼
Máquina	
Almacén	
Posición	
Seleccione máquina:	
M20	▼
Seleccione posición de origen:	
2	▼
Seleccione destino:	
Máquina	▼
Seleccione máquina:	
M12	▼
Seleccione posición de destino:	
4	▼

Seleccione origen:	
Máquina	▼
Máquina	
Almacén	
Posición	
Seleccione máquina:	
M20	▼
Seleccione posición de origen:	
2	▼
Seleccione destino:	
Almacén	▼

Seleccione origen:	
Máquina	▼
Máquina	
Almacén	
Posición	
Seleccione máquina:	
M20	▼
Seleccione posición de origen:	
2	▼
Seleccione destino:	
Posición	▼
Seleccione posición de destino:	
LM2	▼
LM1	
LM2	
...	

Seleccione origen:	
Almacén	▼
Máquina	
Almacén	
Posición	
Seleccione zona:	
MC	▼
Seleccione posición de origen:	
4	▼
Seleccione destino:	
Almacén	▼

Seleccione origen:	
Almacén	▼
Máquina	
Almacén	
Posición	
Seleccione zona:	
MC	▼
Seleccione posición de origen:	
4	▼
Seleccione destino:	
Máquina	▼
Seleccione máquina:	
M20	▼
Seleccione posición de destino:	
3	▼

Seleccione origen:	
Almacén	▼
Máquina	
Almacén	
Posición	
Seleccione zona:	
MC	▼
Seleccione posición de origen:	
4	▼
Seleccione destino:	
Posición	▼
Seleccione posición de destino:	
LM230	▼

Seleccione origen:	
Posición	▼
Máquina	
Almacén	
Posición	
Seleccione posición de origen:	
LM56	▼
Seleccione destino:	
Máquina	▼
Seleccione máquina:	
M20	▼
Seleccione posición de destino:	
1	▼

Seleccione origen:	
Posición	▼
Máquina	
Almacén	
Posición	
Seleccione posición de origen:	
LM56	▼
Seleccione destino:	
Almacén	▼

Seleccione origen:	
Posición	▼
Máquina	
Almacén	
Posición	
Seleccione posición de origen:	
LM56	▼
Seleccione destino:	
Posición	▼
Seleccione posición de destino:	
LM400	▼

	Descripción	Tarea asociada	Variables "Inputs"
Máquina-Máquina	Carga de un embalaje en la posición indicada de la máquina de origen, y posterior traslado y descarga del embalaje en la posición indicada de la máquina de destino. A través de BMS, el sistema podrá saber que embalaje hay asociado a la posición de origen y asociarlo a la petición pudiendo determinar el resto de información necesaria como la altura de carga en la posición de origen y la altura de carga en la posición de destino.	"Máquina"	<ul style="list-style-type: none"> - <i>machineLocation</i> - <i>locationPrepoint</i> - <i>loadHeight</i> - <i>loadHeightPlus</i> - <i>destinedLocation</i> - <i>destinedPrepoint</i> - <i>destinedHeight</i> - <i>destinedHeightPlus</i> - <i>inHeight</i>
Máquina-Almacén	Carga de un embalaje en la posición indicada de la máquina de origen, y posterior traslado y descarga del embalaje en una posición libre de la zona del almacén correspondiente al embalaje asociado a la posición de la máquina donde se va a realizar la carga. El AMR se conectará al sistema tras llegar al punto de decisión asociado a la máquina donde se va a realizar la carga, para determinar la posición de destino.	"Retirada"	<ul style="list-style-type: none"> - <i>machineLocation</i> - <i>locationPrepoint</i> - <i>loadHeight</i> - <i>loadHeightPlus</i> - <i>decisionPoint</i>
Máquina-Posición	Carga de un embalaje en la posición indicada de la máquina de origen, y posterior traslado al punto intermedio indicado de una de las rutas del mapa. El embalaje que ha cargado en la máquina de origen se asociará al AMR que ha realizado la operativa, de forma que el sistema lo tendrá en cuenta y solo permitirá utilizar dicho AMR para operaciones que impliquen traslado o descarga sin carga previa, como son las de Posición-Posición, Posición-Máquina o Posición-Almacén.	"MTraslado"	<ul style="list-style-type: none"> - <i>machineLocation</i> - <i>locationPrepoint</i> - <i>loadHeight</i> - <i>loadHeightPlus</i> - <i>destinedPoint</i>
Almacén-Almacén	Carga de un embalaje en la zona y posición indicada del almacén, y posterior traslado y descarga del embalaje en una posición libre de la zona del almacén correspondiente al embalaje asociado a la posición del almacén donde se va a realizar la carga. El AMR se conectará al sistema tras terminar la operación de carga en la posición de origen, para determinar la posición de destino.	"Almacén"	<ul style="list-style-type: none"> - <i>supplyLocation</i> - <i>supplyPrepoint</i> - <i>supplyHeight</i> - <i>supplyHeightPlus</i>
Almacén-Máquina	Carga de un embalaje en la zona y posición indicada del almacén, y posterior traslado y descarga del embalaje en la posición de la máquina indicada.	"Suministro"	<ul style="list-style-type: none"> - <i>supplyLocation</i> - <i>supplyPrepoint</i> - <i>supplyHeight</i> - <i>supplyHeightPlus</i> - <i>machineLocation</i> - <i>locationPrepoint</i> - <i>loadHeight</i> - <i>loadHeightPlus</i>

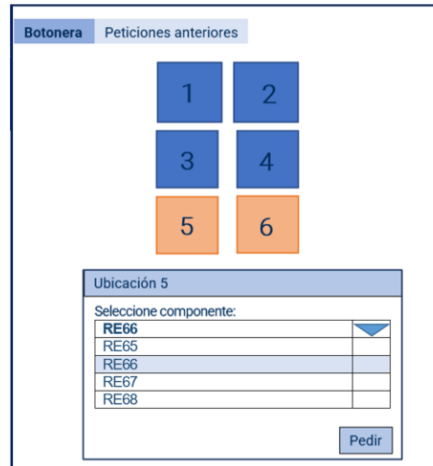
Almacén-Posición	Carga de un embalaje en la zona y posición indicada del almacén, y posterior traslado al punto intermedio indicado de una de las rutas del mapa. El embalaje que ha cargado en la posición de origen del almacén se asociará al AMR que ha realizado la operativa, de forma que el sistema lo tendrá en cuenta y solo permitirá utilizar dicho AMR para operaciones que impliquen traslado o descarga sin carga previa, como son las de Posición-Posición, Posición-Máquina o Posición-Almacén.	“WTraslado”	<ul style="list-style-type: none"> - <i>supplyLocation</i> - <i>supplyPrepoint</i> - <i>supplyHeight</i> - <i>supplyHeightPlus</i> - <i>destinedPoint</i>
Posición-Máquina	Asumiendo que el AMR que va a realizar esta operativa tiene en sus uñas un embalaje que ha cargado previamente, traslado desde el punto intermedio de una de las rutas del mapa indicado y posterior descarga de este en la posición de la máquina indicada.	“TrasladoM”	<ul style="list-style-type: none"> - <i>originPoint</i> - <i>machineLocation</i> - <i>locationPrepoint</i> - <i>loadHeight</i> - <i>loadHeightPlus</i> - <i>inHeight</i>
Posición-Almacén	Asumiendo que el AMR que va a realizar esta operativa tiene en sus uñas un embalaje que ha cargado previamente, traslado desde el punto intermedio de una de las rutas del mapa indicado y posterior descarga de este en una posición libre de la zona del almacén correspondiente al embalaje que el AMR tiene en sus uñas. El AMR se conectará al sistema tras llegar al punto de decisión asociado a la posición de origen indicada.	“TrasladoW”	<ul style="list-style-type: none"> - <i>originPoint</i> - <i>decisionPoint</i>
Posición-Posición	Traslado desde el punto intermedio de origen de una de las rutas del mapa indicado hasta el punto intermedio de destino indicado.	“Traslado”	<ul style="list-style-type: none"> - <i>originPoint</i> - <i>destinedPoint</i>

Interfaz de peticiones

En esta interfaz los **operarios de producción** podrán realizar las **peticiones de retirada-suministro** de embalajes en la máquina y visualizar peticiones anteriores finalizadas.

En la pestaña **“Botonera”** se visualizará el **número de botones** correspondiente al número de **posiciones** asociadas en el **Backend** a la **máquina** previamente seleccionada en la **pantalla de selección**. A su vez, cada posición estará asociada en el **Backend** con cada una de las ubicaciones **AP** de las posiciones correspondientes.

En caso de que la orden de fabricación de la máquina correspondiente requiera **suministro de componentes** en alguna de las posiciones, estos botones aparecerán en color naranja, y, al pulsarlos, aparecerá en la misma pantalla una **ventana modal** para la **selección de la referencia del componente** del que se quiere realizar la petición de retirada-suministro. La información requerida para que el sistema sepa si **mostrar un tipo u otro de botón** será el **tipo de embalaje** que admite la posición correspondiente, **productos o componentes**, información que también estará asociada en el **Backend** con cada máquina y posición.



Por último, en la pestaña de **peticiónes anteriores**, se mostrarán las peticiónes en las que ya se haya retirado y suministrado el embalaje correspondiente.

Botonera		Peticiónes anteriores	
Posición	Embalaje	Hora de petición	Hora de finalización
3	RE66	8:04:10	8:14:20
5	RE35	7:25:30	7:34:40

Interfaz de carretillero

Esta interfaz se utilizará para la **gestión de las ubicaciones de almacén**. En ella habrá una ventana de **notificaciones**, donde el carretillero recibirá las **órdenes de ubicación o reubicación** de embalajes en el **almacén**.

En cada notificación se incluirá el **embalaje** que debe ubicar **en función de la máquina, producto fabricado y posición asociados al botón que ha pulsado el operario**, el **componente** en caso de que sea un embalaje de componentes y el **tipo de acción** que debe realizar, **Ubicar/Reubicar**. En caso de que la acción sea **“Ubicar”**, aparecerá un **desplegable** donde el carretillero podrá ver las diferentes **posiciones libres** en ese momento de la **zona multi-contenedor** o de la **zona de posiciones dedicadas** del almacén para posteriormente **indicar en cuál de ellas ha ubicado el embalaje vacío** (lleno en caso de embalajes de componentes) correspondiente. Y, en caso de que la acción sea **“Reubicar”**, la **zona y ubicación del almacén en la que se encuentra el embalaje que debe mover**.

Una **notificación de ubicación** se generará cuando un **operario de producción pulse un botón de retirada-suministro** en la **pantalla de peticiónes** de su puesto y una **notificación de reubicación** se generará cuando un **AMR termine la operativa de retirada**. Para confirmar que se ha llevado a cabo la acción el carretillero pulsará el **tic de confirmación**, y la notificación pasará al apartado de **“notificaciones anteriores”**. Además, las notificaciones aparecerán en **orden de prioridad en función de la hora de petición, la cadencia de fabricación y el número de piezas que admite el embalaje** del producto asociado a la petición de retirada-suministro.

Notificaciones						
Notificaciones actuales:						
Embalaje	Componente	Acción	Zona	Ubicación	Confirmación	
RE35	C216	Reubicar	MC	3	✓	
RE28	-	Ubicar	MC	6	▼	✓
Notificaciones anteriores:						
Embalaje	Componente	Acción	Zona	Ubicación	Fecha	Hora
RE35	C216	Reubicar	MC	3	26/04/23	10:04

Interfaz de monitorización AMR/Cargadores/Operativas

Esta interfaz se desarrollará con objeto de facilitar a la empresa el **control de los AMR** y la **detección rápida de posibles incidencias**, a la cual podrá acceder tanto el **control room** de la empresa como el **pastor**. Constará de **3 pantallas**, una para mostrar **datos en tiempo real relativos a los AMR**, otra para mostrar **datos en tiempo real relativos a los cargadores** y otra para mostrar **datos en tiempo real de las operativas**.

El formato esperado para la **pantalla de los AMR** será una tabla de datos, dentro de la cual se podrá filtrar por ID del AMR para una búsqueda rápida de los datos de un AMR concreto. Como se puede ver en la siguiente ilustración, se mostrarán datos relativos a la batería, localización del mapa en la que se encuentran, estado, operativa que están realizando, nivel de confianza con el entorno, etc.

AMR											
											BUSCAR
Id	IP	Batería	Localización	Estado	Con carga	Embalaje	Cargando	Bloqueado	Máquina	Operación	Confidence
01	192.168.100.110	67%	PP50	Libre	Si	RE45	No	No	--	--	1.00
02	192.168.100.111	80%	AP130	Activo	No	--	No	No	M18	Retirada	0.91
03	192.168.100.112	50%	LM80	En espera	No	--	No	No	M22	Retirada	0.76
04	192.168.100.113	45%	LM200	Pausado	No	--	No	Si	M12	Suministro	0.55
05	192.168.100.114	25%	AP68	Activo	No	--	No	No	M13	Suministro	0.40
06	192.168.100.115	40%	LM350	Activo	Si	RE98	No	Si	M26	Retirada	0.68
07	192.168.100.116	92%	LM265	Libre	No	--	No	No	--	--	0.96
08	192.168.100.117	85%	AP147	Completado	No	--	No	No	M25	Suministro	0.92
09	192.168.100.118	70%	LM30	Cancelado	No	--	No	No	M20	Suministro	0.75
10	192.168.100.119	30%	LM96	Fallido	No	--	No	Si	M08	Retirada	0.93
11	192.168.100.120	52%	AP102	Activo	Si	RE65	No	No	M03	TrasladoM	0.80
12	192.168.100.121	48%	CP60	Libre	Si	RE32	Si	No	--	--	0.80

Además, pulsando en cada uno de ellos aparecerá una ventana modal con datos más detallados del AMR:

The screenshot shows a web interface for managing Autonomous Mobile Robots (AMR). At the top, there is a search bar labeled 'BUSCAR' and a table with columns: Id, IP, Batería, Localización, Estado, Con carga, Embalaje, Cargando, Bloqueado, Máquina, Operación, and Confidence. A modal window for 'AMR 01' is open, displaying a battery level of 68% and technical details: Ciclos de la batería (°C): 0, Temperatura de la batería (°C): 21, Kilometraje (km): 73591.52, and Tiempo encendido (h): 892449.06.

Id	IP	Batería	Localización	Estado	Con carga	Embalaje	Cargando	Bloqueado	Máquina	Operación	Confidence
01	192.168.100.110	67%	PP50	Libre	Si	RE45	No	No	--	--	1.00
02	192.168.100.111	80%	AP100	Activo	No	--	--	--	M18	Retirada	0.91
03	192.168.100.112	50%	LM	Libre	No	--	--	--	M22	Retirada	0.76
04	192.168.100.113	45%	LM	Libre	No	--	--	--	M12	Suministro	0.55
05	192.168.100.114	25%	AP	Activo	No	--	--	--	M13	Suministro	0.40
06	192.168.100.115	40%	LM	Libre	No	--	--	--	M26	Retirada	0.68
07	192.168.100.116	92%	LM	Libre	No	--	--	--	--	--	0.96
08	192.168.100.117	85%	AP	Activo	No	--	--	--	M25	Suministro	0.92
09	192.168.100.118	70%	LM30	Cancelado	No	--	No	No	M20	Suministro	0.75
10	192.168.100.119	30%	LM96	Fallido	No	--	No	Si	M08	Retirada	0.93
11	192.168.100.120	52%	AP102	Activo	Si	RE65	No	No	M03	TrasladoM	0.80
12	192.168.100.121	48%	CP50	Libre	Si	RE32	Si	No	--	--	0.80

La **pantalla de cargadores** tendrá el mismo formato y se mostrarán datos relativos a la localización en la que se encuentra el cargador, si hay algún AMR en esa ubicación y si está cargando. Si hay un cargador que **no está cargando, pero está ocupado por un AMR**, llegará una **alerta al mail y a telegram** para que el pastor realice las comprobaciones y acciones necesarias.

The screenshot shows a web interface titled 'Cargadores'. It features a search bar labeled 'BUSCAR' and a table with columns: Id, IP, Localización, Estado, and Cargando.

Id	IP	Localización	Estado	Cargando
01	192.168.100.248	CP50	Libre	No
02	192.168.100.249	CP90	Ocupado	Si
03	192.168.100.250	CP87	Libre	No
04	192.168.100.260	CP40	Ocupado	No
05	192.168.100.261	CP32	Ocupado	Si
06	192.168.100.262	CP78	Ocupado	Si

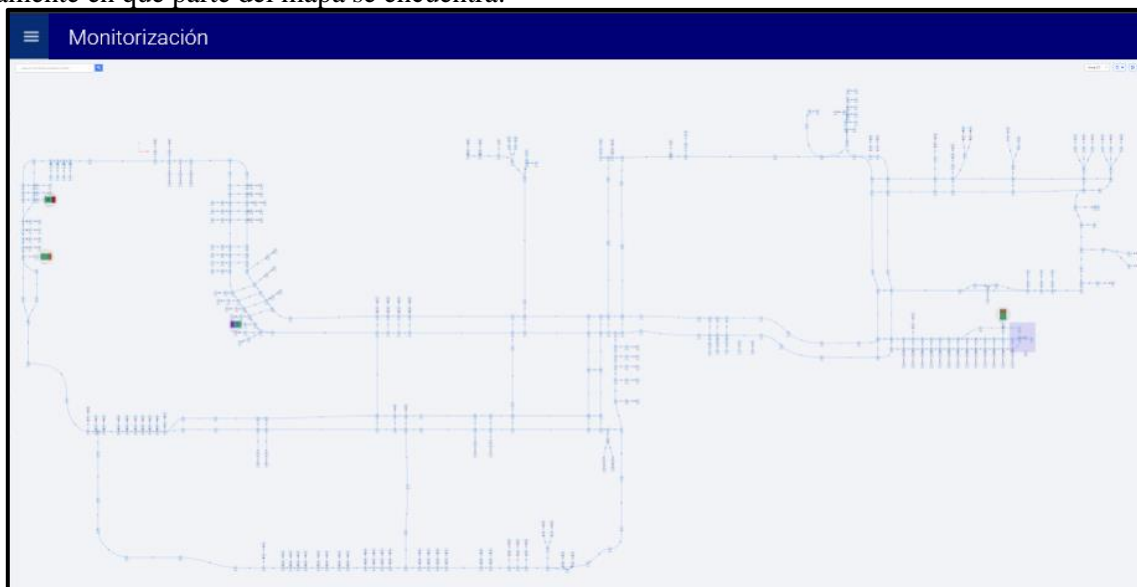
Por último, en la **pantalla de operativas**, se mostrarán datos relativos a la máquina, posición de origen, embalaje, referencia de componente, en caso de que sea operativa de suministro de componentes, zona de destino, tarea que se está realizando, AMR asignado y prioridad de cada operativa.



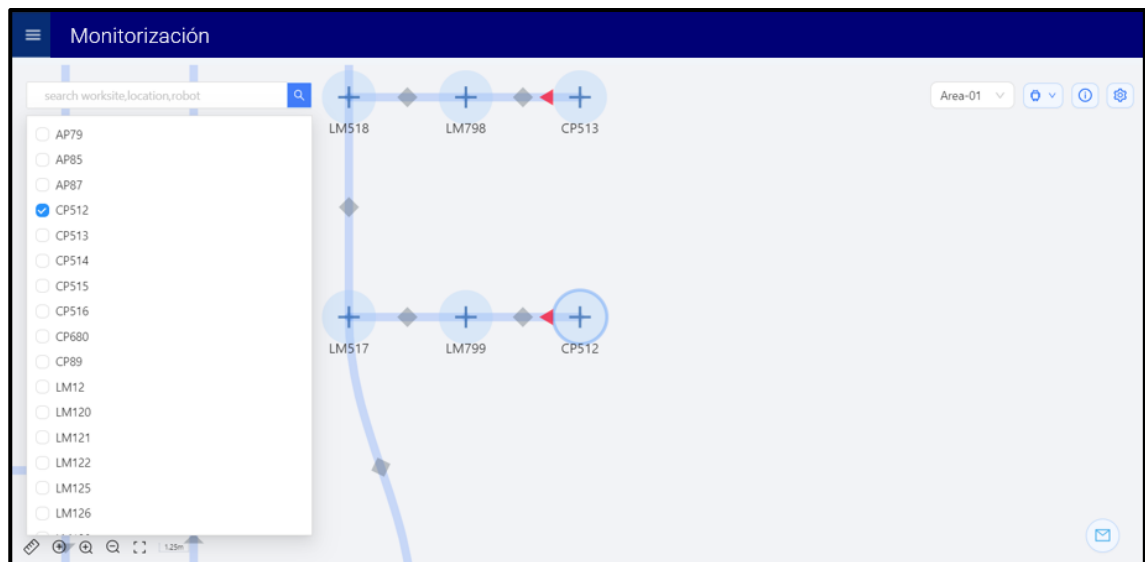
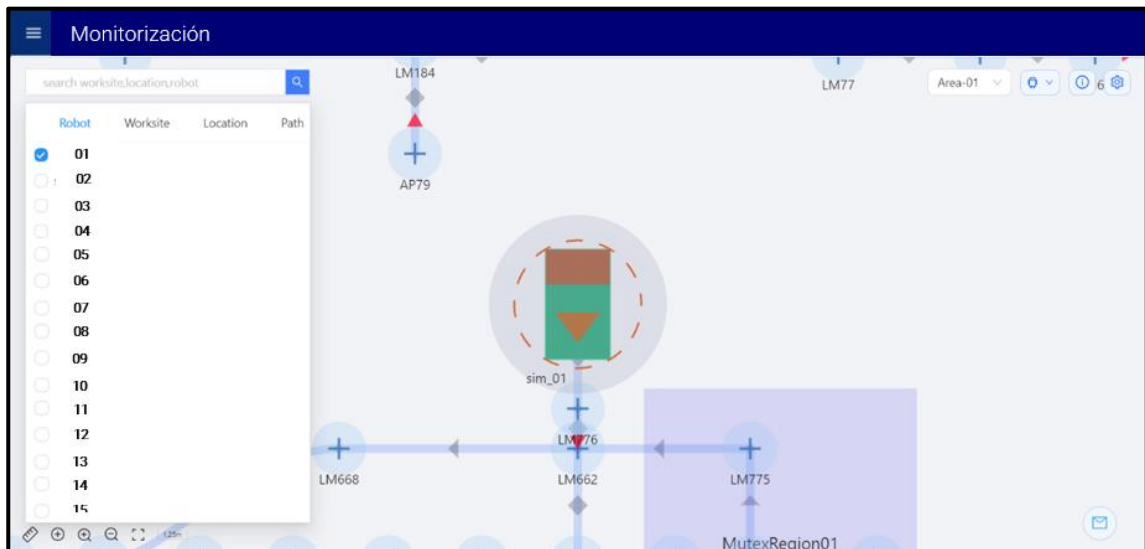
Máquina	Posición	Embalaje	Componente	Destino	Tarea	AMR	Prioridad
M11	1	RE25	--	Flejadora	Retirada	4	1
M20	3	RE47	C062	MC	Retirada	10	3
M15	1	RE06	--	MC	Suministro	14	6
M03	2	RE98	--	MC	Retirada	22	8
M10	5	RE83	--	Flejadora	Suministro	11	4
M25	3	RE83	--	Montaje	Retirada	2	10
M18	3	RE67	--	Flejadora	Suministro	7	12
M22	6	RE54	C041	MC	Retirada	19	2
M13	2	RE03	--	MC	Retirada	16	5
M09	5	RE36	--	Flejadora	TrasladoM	18	11
M27	2	RE78	--	Flejadora	Suministro	18	7
M22	2	RE90	--	PD	Retirada	5	9

Interfaz de monitorización de tráfico

Esta interfaz se utilizará para poder visualizar el tráfico en tiempo real en todo momento y poder realizar una búsqueda rápida de un AMR concreto o de determinadas localizaciones en el mapa, de forma que, si se detecta una incidencia en un AMR, o es necesario que el pastor vaya a una localización concreta, podrá buscar rápidamente en qué parte del mapa se encuentra.



En la esquina superior izquierda habrá una pestaña de búsqueda donde se podrá seleccionar un robot o una localización concretos con objeto de identificarlos en el mapa.



Anexo XI. Descripción detallada del desarrollo en Backend para la gestión de información relacionada.

El equipo de desarrollo de Moontech deberá establecer en el Backend una serie de relaciones entre la información que el sistema cargará de BMS e información relativa a variables necesarias para las tareas creadas en RDS o variables dinámicas que el sistema debe generar para la gestión de las diferentes operativas.

En primer lugar, se deberá establecer una conexión entre Backend y BMS para obtener toda la información necesaria relativa a las órdenes de fabricación que haya en cada máquina en un momento determinado. En la siguiente tabla se describen las variables necesarias y sus dependencias.

Variable	Descripción	Dependencias
Máquina	Máquinas existentes. Necesario para que el operario de producción pueda seleccionar su puesto en la pantalla de selección.	-
Molde	Molde con el que está trabajando cada una de las máquinas (solo inyectoras).	BMS: Máquina

Producto	Producto con el que está trabajando cada una de las máquinas.	BMS: Máquina y molde
Componente	Referencia de los componentes necesarios en cada orden de fabricación, solo en el caso de que sean necesarios.	BMS: Máquina, molde y producto
Embalaje	Referencia del embalaje asociado a cada producto fabricado o componente necesario.	BMS: Máquina, molde, producto y componente
Número de piezas	Número de piezas que admite un determinado embalaje.	BMS: Embalaje
Cadencia	Números de piezas que la máquina produce por hora.	BMS: Máquina, molde y producto

Esta información se relacionará en **bases de datos del Backend** con **otras variables necesarias relativas a los puestos de trabajo**, para poder **asociar las que sean necesarias en cada petición**. En la siguiente tabla se describen las **variables necesarias y sus dependencias**, y en aquellas variables que serán inputs en las tareas de RDS, se muestra entre paréntesis el nombre que se le debe asociar.

Variable	Descripción	Dependencias
Máquina	Máquinas existentes. Necesario para que el operario de producción pueda seleccionar su puesto en la pantalla de selección.	BMS: Máquina
Posición	Posiciones en las que el AMR puede retirar-suministrar embalajes en una máquina. Influye en el número de botones que se muestran en la pantalla de peticiones.	Backend: Máquina
Estado	Ocupada → Hay embalaje en la ubicación AP Vacía → No hay embalaje en la ubicación AP.	Backend: Máquina y posición. RDS: POST request (UnloadCompleted)
Embalaje	Referencia del embalaje asociado a cada producto fabricado o componente necesario. Necesario para asociarlo a cada petición y para obtener otro tipo de información necesaria relacionada con este.	BMS: Máquina, molde, producto y componente. Backend: Máquina y posición
Tipo embalaje	El embalaje puede ser para productos o para componentes . Influye en la funcionalidad y forma en la que se muestran los botones de la pantalla de peticiones.	Backend: Embalaje
Tiempo de llenado	Tiempo que le cuesta a un embalaje determinado de una máquina determinada llenarse. Necesario para establecer las prioridades entre las diferentes operativas.	BMS: Máquina, producto, embalaje, número de piezas, cadencia Backend: Máquina, posición
Ubicación origen (machineLocation)	Ubicación tipo AP asociadas a las posiciones de cada máquina, donde el AMR realiza las acciones de carga en las operativas de “Retirada”, “MTraslado” y “Máquina” y las acciones de descarga en la operativa de “Suministro”.	Backend: Máquina y posición
Prepunto origen (locationPrepoint)	Ubicación tipo LM asociada a las posiciones de cada máquina, donde el AMR realiza acciones de posicionamiento de uñas antes y después de la carga de embalajes en las operativas de “Retirada”, “MTraslado” y “Máquina” y antes y después de la descarga de embalajes en la operativa de “Suministro”.	Backend: Máquina y posición
Ubicación destino (destinedLocation)	Ubicación tipo AP asociadas a las posiciones de cada máquina, donde el AMR realiza las acciones de descarga en la operativa de “Máquina”. Para una misma máquina y posición su valor coincide con el valor de la ubicación origen.	Backend: Máquina y posición
Prepunto destino (destinedPrepoint)	Ubicación tipo LM asociada a las posiciones de cada máquina, donde el AMR realiza las acciones de	Backend: Máquina y posición

	posicionamiento de uñas antes y después de la descarga de embalajes en la operativa de “Máquina”.	
Altura de carga/descarga (loadHeight)	Altura (en metros) a la que el AMR debe elevar/bajar sus uñas para la carga/descarga de embalajes en las posiciones de las máquinas.	Backend: Máquina, posición y embalaje.
En altura (inHeight)	Boolean → true/false Será true si la altura de carga/descarga de una posición es igual o mayor a 0.3 metros. Se utilizará para evitar posicionamientos de uñas innecesarios antes de la descarga de embalajes en las posiciones de las máquinas y así ahorrar tiempo.	Backend: Máquina, posición, embalaje y altura de carga/descarga
Punto de origen (originPoint)	Ubicación tipo LM de la zona de máquinas cercana al AMR que queremos que realice operativas de tipo “Traslado”, “TrasladoM” y “TrasladoW”.	-
Punto de destino (destinedPoint)	Ubicación tipo LM de la zona de máquinas donde queremos que el AMR se traslade en operativas de tipo “Traslado”, “MTraslado” y “WTraslado”.	-
Posición de decisión (decisionPoint)	Ubicación tipo LM cercana al almacén, donde el AMR determinará la posición del almacén donde va a descargar un embalaje en las operativas de tipo “Retirada” y “TrasladoW”.	Backend: Máquina (Operativa “Retirada”) y punto de origen (Operativa “TrasladoW”)
Destino	Destino asociado a cada embalaje: zona multi-contenedor (MC), zona de posiciones dedicadas (PD) o Flejadora . Necesario para saber a qué zona del almacén se debe trasladar el embalaje retirado de la máquina.	Backend: Embalaje
Posicionamiento	En la zona multi-contenedor hay 9 posiciones posibles de carga/descarga, pero cada una de ellas tiene 2 posibles posicionamientos del AMR en función del embalaje. Una de ellas corresponderá al posicionamiento A y la otra al posicionamiento B . Se necesitará para asociar la ubicación de almacén indicada para la descarga del embalaje retirado.	Backend: Destino, Embalaje

Por otro lado, se creará otra base de datos en el Backend para **relacionar variables relativas a las ubicaciones del almacén entre ellas y con información asociada a las peticiones**. En la siguiente tabla se describe cada una de estas variables y sus dependencias.

Variable	Descripción	Dependencias
Zona	Zona multi-contenedor (MC), zona de posiciones dedicadas (PD) y Flejadora .	-
Posición	Distintas posiciones del almacén en función de la zona: - Flejadora: 1 - MC: 1 a 9 - PD → Llenos: 1, 2 (1 para jaulas y 1 para contenedores largos) - PD → Vacíos: 2, 3, 4, 5, 6, 7 (2 ubicaciones con 3 alturas)	Backend: Zona
Posicionamiento	En cada una de las 9 posiciones de la zona multi-contenedor hay 2 posibles posicionamientos en función del embalaje, y cada uno de ellos requiere una ubicación AP distinta, por lo que para cada posición habrá un posicionamiento A y un posicionamiento B .	Backend: Zona, Posición

Ubicación retirada (retiredLocation)	Ubicación tipo AP (Roboshop) donde el AMR realiza las acciones de descarga de embalajes en el almacén.	Backend: Zona, Posición, Posicionamiento
Ubicación suministro (supplyLocation)	Ubicación tipo AP (Roboshop) donde el AMR realiza las acciones de carga de embalajes en el almacén.	Backend: Zona, Posición, Posicionamiento
Estado	Ocupada → Hay embalaje en esa posición. Libre → No hay embalaje en esa posición. Reservada → Un AMR está llevando un embalaje a esa posición.	Backend: Zona, Posición Carretillero almacén: confirmación ubicación/reubicación (ocupada/libre) RDS: GET request (Reservada) y POST request (UnloadWCompleted/LoadWCompleted → ocupada/libre)
Prepunto retirada (retiredPrepoint)	Ubicación tipo LM donde el AMR realiza acciones de posicionamiento de uñas antes y después de la descarga de embalajes en el almacén.	Backend: Zona, Posición
Prepunto suministro (supplyPrepoint)	Ubicación tipo LM donde el AMR realiza acciones de posicionamiento de uñas antes y después de la carga de embalajes en el almacén.	Backend: Zona, Posición
Altura de descarga (retiredHeight)	Altura (en metros) a la que el AMR debe bajar sus uñas para la descarga de embalajes en almacén.	Backend: Zona, posición
Altura de carga (supplyHeight)	Altura (en metros) a la que el AMR debe elevar sus uñas para la carga de embalajes en almacén.	Backend: Zona, posición
Punto de origen (originPoint)	Ubicación tipo LM de la zona del almacén cercana al AMR que queremos que realice operativas de tipo “Traslado”, “TrasladoM” y “TrasladoW”.	-
Punto de destino (destinedPoint)	Ubicación tipo LM de la zona del almacén donde queremos que el AMR se traslade en operativas de tipo “Traslado”, “MTraslado” y “WTraslado”.	-

Por último, se relacionarán también variables relativas a los AMR, los cargadores y las operativas para mostrar la información necesaria en las diferentes pantallas de la interfaz de monitorización. A continuación, se describe cada una de ellas.

- **AMR**

Variable	Descripción	Dependencias
Id	Nombre del robot	AMR: vehicle_id
IP	IP del robot	AMR: vehicle_ip
Batería	Porcentaje de batería del robot	AMR: battery_level
Localización	Ubicación del mapa donde se encuentra el robot. Puede ser: PP → Ubicación de aparcamiento cuando el robot no tiene ninguna tarea asignada ni necesita cargar su batería. AP → Ubicación donde el robot realiza tareas de carga y descarga de embalajes. LM → Ubicación intermedia de una ruta o prepunto de un AP para el posicionamiento de uñas previo o posterior a la carga/descarga de un embalaje.	AMR: current_station

	CP → Ubicación de carga de batería.	
Estado	Estado del robot: - Libre : no tiene asignada ninguna tarea. - Activo : llevando a cabo una tarea - En espera : durante una tarea, esperando a que otro AMR le deje seguir su movimiento. - Completado : acaba de terminar una tarea - Fallido : ha habido un fallo durante el transcurso de una tarea que le impide seguir su movimiento. - Pausado : el pastor ha pausado la tarea que estaba realizando el AMR. - Cancelado : el pastor ha cancelado la tarea que estaba realizando el AMR.	AMR : task_status - 0 → None → Libre - 1 → Waiting → En espera - 2 → Running → Activo - 3 → Suspended → Pausado - 4 → Completed → Completado - 5 → Failed → Fallido - 6 → Canceled → Cancelado
Con carga	Boolean → true/false Si el robot tiene un embalaje en sus uñas o no.	Backend : Orden de operaciones
Embalaje	En caso de que el robot tenga un embalaje en sus uñas, referencia del embalaje.	Backend : Embalaje asociado a la ubicación donde ha cargado previamente el embalaje.
Cargando	Si el robot está cargando su batería o no. Si está cargando, su localización será un CP. Si no está cargando y su localización es un CP, llegará una alerta al mail y a telegram para que el pastor realice las comprobaciones y acciones necesarias.	AMR : charging → true/false
Bloqueado	Si el robot se ha bloqueado por la detección de algún obstáculo o colisión de sus bumpers. En caso de estar bloqueado, llegará una alerta al mail y a telegram para que el pastor realice las comprobaciones y acciones necesarias. En la alerta se incluirá el motivo del bloqueo .	AMR : blocked → true/false AMR : block_reason - 0 = Ultrasonic - 1 = Laser - 2 = Fallingdown - 3 = Collision - 4 = Infrared - 5 = Lock - 6 = Dynamic obstacle - 7 = Virtual laser point - 8 = 3D camera - 9 = Distance sensor - 10 = DI ultrasonic
Máquina	Si está realizando una tarea, a qué máquina está asociada esa tarea.	Backend : Máquina asociada a la petición asignada al robot.
Operación	Si está realizando una tarea, de cual se trata.	Backend : Nombre de la tarea asignada al robot.
Confidence	Nivel de confianza en la localización del robot. Rango [0,1]. Si el nivel de confianza es menor a 0,4 llegará una alerta al mail y a telegram para que el pastor realice las comprobaciones y acciones necesarias.	AMR : confidence

■ Cargadores

Variable	Descripción	Dependencias
Id	Nombre del cargador	Cargador : charger_id
IP	IP del cargador	Cargador : charger_ip
Localización	Ubicación (CP) del mapa donde se encuentra el cargador.	Cargador : charger_station

Estado	Si la ubicación CP correspondiente está libre u ocupada.	AMR: current_station (si coincide con la ubicación CP del cargador → Ocupada)
Cargando	Si el cargador está cargando la batería del AMR que se encuentra en la ubicación CP. Si no está cargando y hay un AMR ocupando la localización CP correspondiente, llegará una alerta al mail y a telegram para que el pastor realice las comprobaciones y acciones necesarias.	Cargador: charging (true/false)

▪ **Operativas**

Variable	Descripción	Dependencias
Máquina	Máquina asociada a una petición.	Backend: Máquina (información máquina)
Posición	Posición de la máquina asociada a la petición.	Backend: Máquina, Posición (información máquina)
Embalaje	Referencia del embalaje asociado a la petición.	BMS: Máquina, molde, producto/componente. Backend: Máquina, Posición (información máquina)
Componente	Referencia del componente asociado a la petición.	BMS: Máquina, molde, producto/componente. Backend: Máquina, Posición (información máquina)
Destino	Destino asociado a la petición.	Backend: Embalaje
Tarea	Tarea asignada a la petición.	Backend: Orden de operaciones
AMR	Id del AMR al que se le ha asignado la petición.	RDS: selectedAgvId
Prioridad (priority)	Prioridad de la operativa.	BMS: Máquina, Molde, Producto/Componente, Cadencia, Embalaje, nº de piezas Backend: Máquina, Embalaje, Tiempo de llenado (información máquina), Hora de la petición

14. Bibliografía.

- [1] <https://www.incotec.es/blog/proyecto-homigobots/>
- [2] <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robot-agv-aiv-los-vehiculos-de-guiado-automatizado-inteligentes/>
- [3] <https://www.interempresas.net/Logistica/Articulos/38400-AGV-los-vehiculos-industriales-inteligentes.html>
- [4] <https://www.inser-robotica.com/las-7-ventajas-de-los-sistemas-agv-para-transporte-en-tu-empresa/>
- [5] <http://guide.directindustry.com/es/que-agv-elegir/>
- [6] <https://innovacion-tecnologia.com/robotica/agv-aiv-vehiculo-de-guiado-automatizado-inteligente/>
- [7] <https://www.ma2014.es/productos/>
- [8] https://www.femeval.es/dam/jcr:1e5ed01a-a0af-48ea-b92a-c62c3e68230c/GUIA_AGV.pdf
- [9] <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/saaty/>
- [10] <https://blog.gieicom.com/por-que-es-tan-util-un-agv-vehiculo-de-guiado-automatizado-en-las-lineas-de-ensamble>
- [11] <https://www.mecalux.es/blog/logistica-interna-que-es>
- [12] <https://www.inser-robotica.com/las-5-ventajas-para-automatizar-los-procesos-industriales/>
- [13] <https://www.ludusglobal.com/blog/carretilla-elevadora>
- [14] <https://roboyo.global/es/servicios/consultoria-de-automatizacion-inteligente/>
- [15] <https://www.ciospain.es/industria-y-utilities/6-riesgos-ocultos-de-la-automatizacion-de-la-ti>
- [16] <https://www.infopl.net/blogs-automatizacion/item/112096-retos-seguridad-concurrencia-entre-personas-vehiculos-autonomos>
- [17] <https://www.geograma.com/blog/slam-cartografia-gis/>