

Trabajo Fin de Grado

Estudio de la viabilidad técnica y económica de la automatización del suministro logístico de productos en Módulos Ribera Alta SL.

Technical and economic feasibility study of the logistics supply of products automation in Módulos Ribera Alta SL.

Autora

María Báguena Gutiérrez

Director

Alfredo Gavin Calvo

Ponente

Ángel Fernández Cuello

Titulación

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza

2020/2021

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dedicar este breve apartado para agradecer a todas las personas que han hecho posible la existencia de este trabajo tanto directa como indirectamente.

Este proyecto es el resultado de una estancia de prácticas de 6 meses en la fábrica Módulos Ribera Alta, por ello, quiero empezar agradeciendo a todas las personas de la empresa que me han ayudado en algún momento, especialmente a mi tutor de prácticas y director del trabajo, Alfredo Gavin Calvo por su supervisión, enseñanzas y consejos. Así como a Ángel Fernández Cuello e Ignacio Martínez Ruiz, profesores de la Universidad de Zaragoza, y a los directivos de la empresa MRA (Grupo CEFA) por brindarme esta oportunidad. Además, he compartido esta experiencia con dos compañeros también becarios pudiendo ayudarnos mutuamente, por lo que también me gustaría agradecerles a ellos, en especial a Clara Rebullida, que además de compañera se ha convertido en una gran amiga.

Por otro lado, me gustaría agradecer también a todas las personas que han compartido conmigo estos 4 años de estudio, tanto personal docente como amigos de la universidad.

Y, por último, a mi familia, amigos y pareja, que me han apoyado siempre y gracias a ellos soy la persona que soy y he podido llegar hasta aquí. Sé que me seguirán apoyando en todo lo que haga.

RESUMEN

El presente Trabajo Final de Grado se desarrolla mayormente en la fábrica especialista en la fabricación de paneles de puerta para automóvil, MRA (Módulos Ribera Alta), situada en Figueruelas, Zaragoza, perteneciente a la empresa multinacional, también zaragozana, CEFA (Celulosa Fabril S.A.), una de las empresas más importantes de la industria del automóvil.

El objetivo de este proyecto consiste en encontrar una solución viable para la automatización del suministro logístico de productos, principalmente en una de las secciones de MRA, donde se fabrican las puertas del vehículo OPEL CORSA, P2JO. Además, también se estudiará la posibilidad de ampliar esta automatización a tantos lugares como sea posible dentro de la fábrica MRA. Esta automatización se quiere llevar a cabo mediante el uso de Vehículos de Guiado Automático consiguiendo aumentar la eficiencia de la planta y reducir costes de manutención.

Así pues, en primer lugar, se realiza un estudio de la logística interna de la fábrica para identificar los lugares donde se podría llevar a cabo una automatización del suministro logístico, para después examinar en detalle el suministro que se desea automatizar. Toda la información quedará documentada y sintetizada mediante tablas, imágenes, esquemas y descripciones.

Como ya se ha comentado esta automatización se llevará a cabo mediante vehículos autónomos, pero hay distintos tipos, por lo que se estudiarán todos los modelos existentes en el mercado para poder encontrar el que mejor se adecue a las necesidades requeridas. Una vez encontrado se explicará el nuevo funcionamiento propuesto para el suministro a automatizar y el diseño de los carros donde se trasladará el material, adaptados al tipo de vehículo automático seleccionado.

Por último, se realizará un estudio de la viabilidad económica estimando el coste del proyecto y el ahorro de costes que se tendrán con su implantación, para poder calcular el periodo de retorno de la inversión. Gracias a un resultado positivo de este, se elaborará el plan de implantación de dichos vehículos automáticos.

ABSTRACT

This Final Degree Project is mainly developed in MRA (Modules Ribera Alta), a factory specialized in the manufacture of car door panels, located in Figueruelas, Zaragoza, and belongs to the multinational Company CEFA (Celulosa Fabril S.A.), also located in Zaragoza. This is one of the most important companies in the automotive industry.

The aim of this project is to find a viable solution for the automation of the supply chain of products, mainly in one of the sections of MRA, where the doors of the OPEL CORSA, P2JO vehicle are manufactured. In addition, the possibility of expanding this automation to as many places as possible within the MRA factory will also be explored. To achieve this goal Automatic Guided Vehicles will be used, thus increasing the efficiency of the plant and reducing maintenance costs.

First of all, a study of the internal logistics of the factory is carried out to identify the places where a logistics supply chain automation could be performed, and then examine in detail the supply to be automated. All information will be documented and synthesized through tables, images, diagrams and descriptions.

As already mentioned, this automation will be carried out using autonomous vehicles, but there are different types, so all the existing models on the market will be studied in order to find the one that best meets the requirements. Once it is found, the new work plan proposed will be explained. Besides, the design changes in the carts that move the material will be also discussed.

Finally, a economic feasibility study will be conducted, estimating the cost of the project and the cost savings that will be achieved, in order to calculate the return on investment period. Thanks to a positive result of this, the implementation plan for these automatic vehicles will be drawn up.

MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA PRINCIPAL

1. Introducción del Trabajo Final de Grado.....	9
1.1. Introducción.....	9
1.2. Antecedentes.....	9
1.3. Problemática.....	10
1.4. Objetivos del proyecto.....	10
1.5. Alcance del proyecto.....	10
1.6. Planificación del proyecto.....	11
1.7. Conclusiones.....	14
2. Entorno de trabajo.....	14
2.1. Introducción.....	14
2.2. Módulos Ribera Alta. (MRA).....	14
2.3. Conclusión.....	15
3. Organización actual de la logística interna.....	16
3.1. Introducción.....	16
3.2. Fabricación de las puertas del modelo Opel Corsa, P2JO.....	16
3.3. Fabricación de salpicadero del modelo Opel Corsa, P2JO.....	18
3.4. Fabricación de salpicadero del modelo Seat Leon, SE380 y SE316.....	19
3.5. Conclusión.....	20
4. Características del suministro logístico que se desea automatizar.....	21
4.1. Introducción.....	21
4.2. Logística interna actual de los traslados que se quieren automatizar.....	21
4.3. Conclusión.....	30
5. Entorno tecnológico.....	30
5.1. Introducción.....	30
5.2. Definición de AGV, ventajas e inconvenientes.....	30
5.3. Tipos de navegación.....	32
5.4. Conclusión.....	34
6. Criterios de selección considerados.....	34
6.1. Introducción.....	34
6.2. Identificación de los criterios de selección.....	34
6.3. Valoración de los criterios de selección.....	37
6.4. Conclusión.....	39
7. Definición y valoración de las alternativas.....	39
7.1. Introducción.....	39
7.2. Definición de alternativas.....	40
7.3. Comparación de las alternativas.....	47
7.4. Selección de la mejor alternativa.....	48
7.5. Conclusión.....	49
8. Descripción del nuevo método de suministro logístico y cambios realizados.....	49
8.1. Introducción.....	49
8.2. Cambios en el layout, almacenaje y recorridos.....	49
8.3. Modificación de los carros.....	52
8.4. Descripción del nuevo método de suministro logístico.....	57
8.5. Otros problemas.....	60
8.6. Conclusión.....	63
9. Estudio de viabilidad económica e implantación en fábrica.....	64
9.1. Introducción.....	64
9.2. Presupuesto de implantación del AIV.....	64
9.3. Costes ahorrados.....	65
9.4. Rentabilidad del proyecto.....	65
9.5. Plan de implantación del AIV.....	67
9.6. Conclusión.....	68
10. Conclusiones del Trabajo Fin de Grado.....	68
10.1. Introducción.....	68
10.2. Conclusiones generales.....	68
10.3. Posibles proyectos futuros.....	70

11. Bibliografía 72

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1. Diagrama Gantt del total del proyecto, tramo 1.....	12
Ilustración 1-2. Diagrama Gantt del total del proyecto, tramo 2.....	12
Ilustración 1-3. Diagrama Gantt del total del proyecto, tramo 3.....	12
Ilustración 1-4. Diagrama Gantt del total del proyecto, tramo 4.....	12
Ilustración 1-5. Diagrama Gantt del total del proyecto, tramo 5.....	12
Ilustración 2. Layout diferenciado por zonas.....	15
Ilustración 3. Piezas de las puertas delanteras, modelo Opel Corsa, P2JO.....	22
Ilustración 4. Piezas de las puertas traseras, modelo Opel Corsa, P2JO.....	22
Ilustración 5. Carro tipo 1.....	23
Ilustración 6. Orígenes y destinos carros tipo 1.....	24
Ilustración 7. Carro tipo 2.....	25
Ilustración 8. Orígenes y destinos carros tipo 2.....	25
Ilustración 9. Carro tipo 3.....	29
Ilustración 10. Orígenes y destinos carros tipo 3.....	27
Ilustración 11. Carro tipo 4.....	28
Ilustración 12. Orígenes y destinos carros tipo 4.....	28
Ilustración 13. Carro tipo 5.....	29
Ilustración 14. Orígenes y destinos carros tipo 5.....	29
Ilustración 15. AIVs de Omron.....	40
Ilustración 16. Componentes LD-250 Omron.....	42
Ilustración 17. Plano LD-250 Omron.....	42
Ilustración 18. AIVs MTS tech.....	43
Ilustración 19. Vistas MIR250.....	45
Ilustración 20. Ruedas inteligentes Wheel_me Genius.....	49
Ilustración 21. Solución FIFO pensada inicialmente.....	50
Ilustración 22. Reorganización de zonas de carros para solución FIFO final.....	51
Ilustración 23. Boceto y acotaciones de los carros actuales tipo 1,2,3 y 4.....	52
Ilustración 24. Vista en isométrico de los carros actuales tipo 1,2,3 y 4.....	53
Ilustración 25. Boceto y acotaciones del carro modificado tipo 2.....	54
Ilustración 26. Vista en isométrico de los carros modificados tipo 1,2,3 y 4.....	54
Ilustración 27. Boceto y acotaciones del carro actual tipo 5.....	55
Ilustración 28. Vista en isométrico del carro actual tipo 5.....	55
Ilustración 29. Boceto y acotaciones del carro modificado tipo 5.....	59
Ilustración 30. Vista en isométrico del carro modificado tipo 5.....	59
Ilustración 31. Carro comercializado por Omron.....	57
Ilustración 32. Ubicación de las tres pantallas de lanzamiento de tareas al robot.....	58
Ilustración 33. Zona de almacenaje de las cajas necesarias en los puestos de montaje.....	61
Ilustración 34. Boceto y acotaciones del carro de cajas.....	62
Ilustración 35. Vista en isométrico del carro de cajas.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Movimientos no automatizados.....	20
Tabla 2. Información del carro tipo 1.....	23
Tabla 3. Información del carro tipo 2.....	24
Tabla 4. Información del carro tipo 3.....	29
Tabla 5. Información del carro tipo 4.....	27

Tabla 6. Información del carro tipo 5.	29
Tabla 7. Datos necesarios para la automatización de los movimientos.	30
Tabla 8. Ventajas e inconvenientes de la implantación de vehículos autónomos.	31
Tabla 9. Tipos de AGV según tipo de navegación y sus características.	33
Tabla 10. Diferencias entre AGVs y AIVs.	34
Tabla 11. Descripción de criterios económicos que se van a considerar en la elección del robot.	35
Tabla 12. Descripción de criterios técnicos que se van a considerar en la elección del robot.	35
Tabla 13. Descripción de criterios operacionales que se van a considerar en la elección del robot.	39
Tabla 14. Descripción de criterios estratégicos que se van a considerar en la elección del robot.	36
Tabla 15. Escala fundamental para método de decisión multicriterio AHP.	37
Tabla 16. Prioridades de los criterios principales.	37
Tabla 17. Prioridades de los subcriterios económicos.	37
Tabla 18. Prioridades de los subcriterios técnicos.	38
Tabla 19. Prioridades de los subcriterios operacionales.	38
Tabla 20. Prioridades de los subcriterios estratégicos.	38
Tabla 21. Tabla resumen de prioridades locales y globales.	39
Tabla 22. Análisis del AIV LD-250 de Omron según criterios a considerar.	41
Tabla 23. Análisis del AIV MIR250 de MTS tech según criterios a considerar.	44
Tabla 24. Análisis del producto wheel.me Genius de Wheel_me según criterios a considerar.	47
Tabla 25. Prioridades de cada proveedor en función de cada uno de los criterios considerados.	48
Tabla 26. Prioridades totales de cada uno de las alternativas consideradas.	48
Tabla 27. Presupuesto de implantación del AIV.	65
Tabla 28. Costes mensuales y acumulados de la situación actual.	67
Tabla 29. Plan de implantación del AIV en fábrica.	68

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1. Proceso de fabricación de las puertas del modelo Opel Corsa, P2JO.	17
Esquema 2. Proceso de fabricación del salpicadero del modelo Opel Corsa, P2JO.	18
Esquema 3. Proceso de fabricación del salpicadero del modelo Seat Leon, SE380 y SE316.	20
Esquema 4. Acciones a realizar por los operarios encargados del montaje de puertas con el nuevo método de suministro logístico.	59
Esquema 5. Acciones a realizar por los encargados del llenado de carros con el nuevo método de suministro logístico.	60

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Coste acumulado de la situación actual con respecto a la nueva situación.	66
Gráfica 2. Coste acumulado de la situación actual con respecto al valor de la Inversión total.	66

1. Introducción del Trabajo Final de Grado.

1.1. Introducción.

A lo largo de este documento se va a ver el estudio de la automatización del suministro logístico en las naves de MRA, el cual es el resultado de una estancia de prácticas en dicha fábrica, de una duración aproximada de 6 meses.

En este apartado se van a ver los antecedentes que dan lugar a este Trabajo Fin de Grado, así como la problemática del proyecto, los objetivos de este y su alcance.

1.2. Antecedentes.

Toda fábrica relacionada con un entorno productivo tiene indicadores de productividad¹ y trabajan siempre en la mejora continua². 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.

La empresa multinacional CEFA (Celulosa Fabril S.A.) está en pleno proceso de digitalización tanto de sus fábricas como de procesos de industrialización para abordar con éxito el reto de la Industria 4.0.

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 que mejoren el producto final y por eso es necesario reducir los recursos que se emplean en dicha acción.

En la actualidad, estas fábricas ya han automatizado parte de dicho movimiento mediante el uso de AGVs (*Automated Guided Vehicles*)³ filoguiados, pero todavía sigue habiendo movimiento de materiales no automatizado del cual se encargan los operarios y que reducen el grado de eficiencia y seguridad de la fábrica. Por eso se quiere buscar una solución que permita la automatización de estos procesos.

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 eso interesa acumular el mínimo material posible.

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

¹ Los indicadores de productividad son herramientas aplicadas frecuentemente en la gestión empresarial, con el fin de evaluar el rendimiento y la eficiencia de los procesos en las empresas. [1]

² La mejora continua es un método por el cual las empresas realizan optimizaciones a pequeña escala de forma continuada. Este proceso mejora la calidad de los productos, los procesos y los servicios a largo plazo. [20]

³ Un AGV es un vehículo que se mueve de forma automática, sin necesidad de conductor, y realiza tareas de transporte de mercancías. [3]

1.3. Problemática.

Como ya se ha dicho, el movimiento no automatizado de productos dentro de la fábrica reduce la eficiencia y seguridad de esta, además de suponer costes innecesarios asociados a un proceso que no genera ningún valor añadido. Actualmente son varios operarios los encargados de realizar este tipo de movimientos, lo cual supone unos gastos de manutención de unos 30.000€ anuales por operario.

Otro de los problemas que se tienen es que actualmente no se garantiza el funcionamiento de un sistema FIFO⁴, ya que debido a la forma de almacenamiento de productos que se sigue actualmente, los operarios no son capaces de llevarlo a cabo y mueven los productos que tienen más a mano en cada momento. Conseguir un correcto funcionamiento de dicho sistema es importante ya que almacenar ciertos productos durante un tiempo elevado conlleva tensiones de fluencia⁵ en los productos que pueden derivar en deformaciones de estos.

1.4. 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 MRA, reduciendo así costes asignados al transporte y suministro de material, a través del uso de nuevas tecnologías. Para ello se analizarán las diferentes alternativas de automatización que existen en el mercado determinando su viabilidad técnica y económica.

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

1.5. Alcance del proyecto.

Al estar este proyecto formulado desde un entorno empresarial, es necesario conocer previamente la fábrica en la que se desarrolla, tanto los espacios de trabajo, almacén y pasillos como la logística interna⁶ que se sigue actualmente, la cual se explicará más adelante.

El foco principal de este proyecto recae sobre la adaptación de los procesos que actualmente se siguen para el suministro logístico no automatizado, en un proceso totalmente automatizado mediante un tipo de AGV, teniendo en cuenta las normativas existentes en el ámbito de circulación de almacenes y prevención de riesgos laborales. Por ello, el cambio de forma de trabajar, el funcionamiento de los AGVs o los cambios de layouts de movimiento se detallan en mayor medida. La lógica interna de los AGVs no se detallará puesto que es algo de lo que se encargan los proveedores.

⁴ First In First Out, aquello que primero ha entrado en el almacén debe ser aquello a lo que primero se le dé salida. [\[21\]](#)

⁵ Las tensiones de fluencia son las fuerzas aplicadas en un material que pueden hacer que se produzca en él una deformación irreversible. [\[22\]](#)

⁶ La logística interna es la parte de la logística que hace referencia a la organización del conjunto de flujos de materiales e información que se producen dentro de la propia empresa. [\[23\]](#)

1.6. Planificación del proyecto.

Con objeto de cumplir con todas las tareas necesarias para la elaboración e implantación del proyecto, se realiza una planificación de la duración total del mismo, estimando una duración aproximada para cada una de las tareas a realizar. Esta planificación se muestra en el diagrama de Gantt de la [Ilustración 1](#). Comentar también, que la tarea de redacción del proyecto, aunque no visible en el diagrama, se llevará a cabo durante todo el periodo de tiempo que se muestra, realizándolo tanto en las instalaciones de la fábrica, como en casa como trabajo posterior.

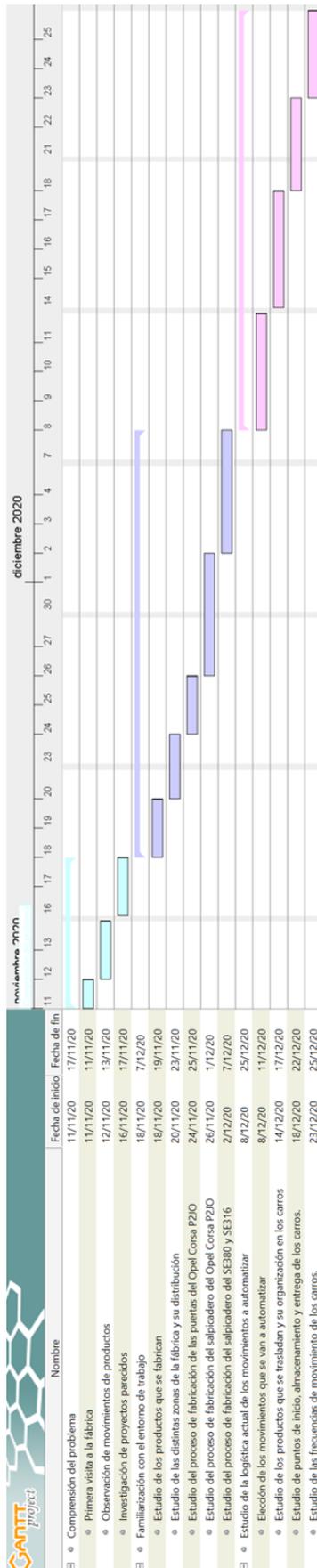


Ilustración 1-1. Diagrama Gantt del total del proyecto, tramo 1.
(Fuente: Elaboración propia)

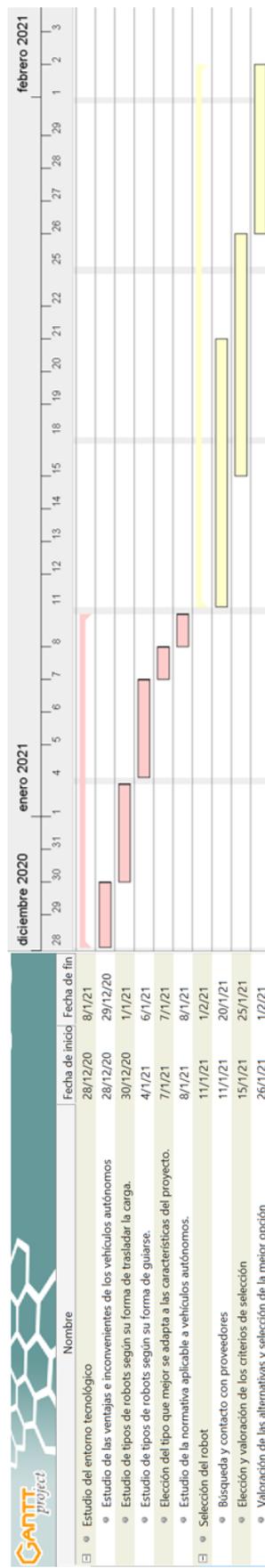


Ilustración 1-2. Diagrama Gantt del total del proyecto, tramo 2.
(Fuente: Elaboración propia)

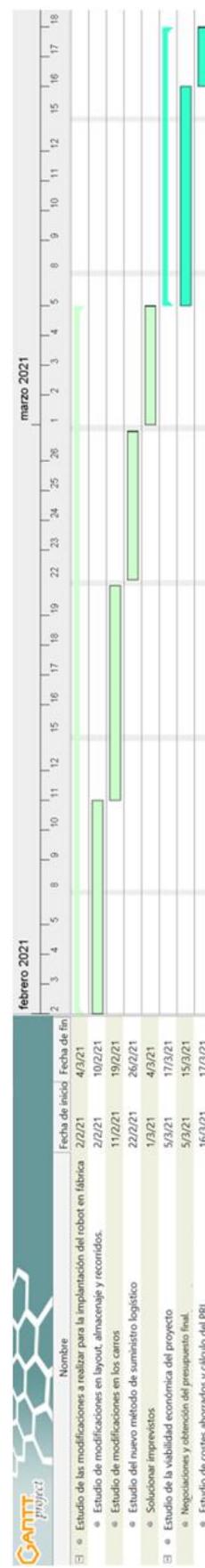


Ilustración 1-3. Diagrama Gantt del total del proyecto, tramo 3.
(Fuente: Elaboración propia)

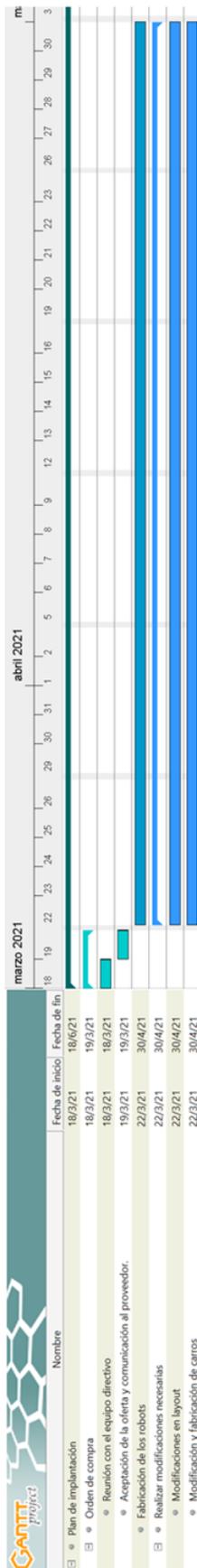


Ilustración 1-4. Diagrama Gantt del total del proyecto, tramo 4.
(Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 1-5. Diagrama Gantt del total del proyecto, tramo 5.
(Fuente: Elaboración propia)

1.7. Conclusiones.

Con el fin de aplicar los conocimientos adquiridos durante el grado y dar solución a un problema real, se plasman en esta memoria las actividades realizadas durante un periodo de prácticas, cuyo objetivo es la automatización del suministro logístico de productos en el interior de una planta de fabricación de piezas para automóvil mediante el uso de vehículos autónomos. El uso de esta nueva tecnología supondrá una reducción de los costes de mantenimiento, a la vez que un aumento de seguridad y automatización en el interior de dicha planta.

Como se ha podido ver en el diagrama de Gantt anterior, el proyecto tendrá una duración de aproximadamente 7 meses, por lo tanto, el periodo de prácticas se alargaría un mes más si fuese posible, ya que la duración inicial de este es de 6 meses.

En los siguientes apartados se muestra una introducción al lugar en el que se desarrolla el proyecto mostrando su actual logística interna, se describe el entorno tecnológico de los vehículos autónomos y posteriormente se desarrollan las fases del proyecto de automatización desde su concepción hasta el estudio de viabilidad económica y el plan de implantación.

2. Entorno de trabajo.

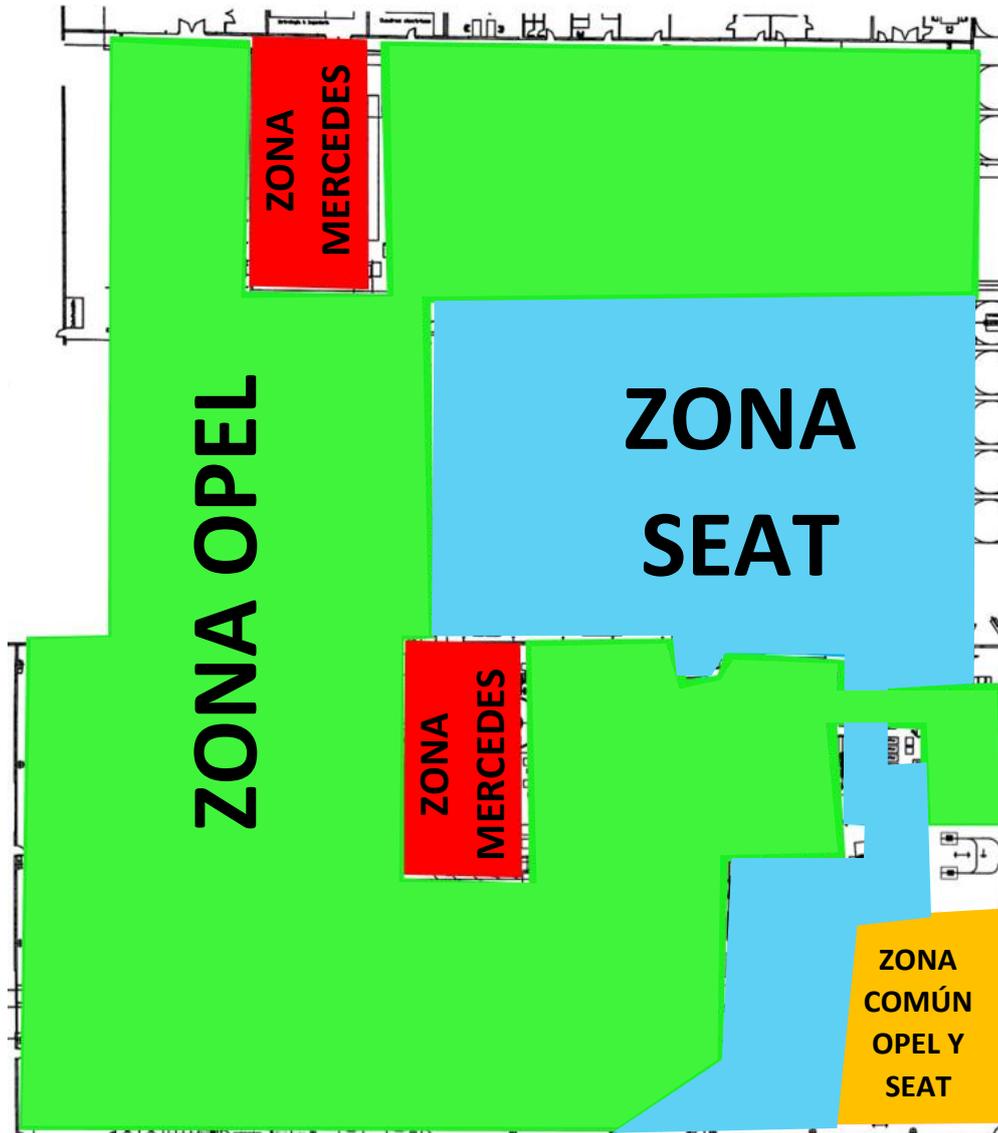
2.1. Introducción.

Como ya se ha mencionado anteriormente, este proyecto se desarrolla mayormente en la fábrica fabricante de paneles de puerta para automóvil, MRA (Módulos Ribera Alta), situada en Figueruelas, Zaragoza, y perteneciente a la empresa multinacional, también zaragozana, CEFA (Celulosa Fabril S.A.). En el Anexo I se detalla más información sobre esta empresa.

Con el objetivo de conocer mejor el entorno de trabajo, en este apartado se describirá con mayor detalle el lugar donde se va a desarrollar el proyecto de automatización.

2.2. Módulos Ribera Alta. (MRA)

MRA es la entidad perteneciente al grupo CEFA, encargada de la fabricación de paneles de puerta para automóvil, entre otras cosas. Dentro de ella, se puede distinguir la fabricación y montaje de piezas para coches de las marcas Opel, Seat, Mercedes y Volkswagen, pero este proyecto se centrará en las naves donde se fabrican piezas para Opel, Seat y Mercedes. Por lo tanto, dentro de estas naves pueden diferenciarse tres zonas, la zona de Opel, la zona de Seat y la zona de Mercedes, como se puede ver en la siguiente imagen.



*Ilustración 2. Layout diferenciado por zonas.
(Fuente: Elaboración propia)*

En la zona Opel predomina la fabricación de las puertas traseras y delanteras del vehículo Opel Corsa, P2JO y la fabricación del salpicadero de dicho modelo. No obstante, también se fabrican piezas para el salpicadero del modelo Opel P1MT y piezas del maletero de los modelos Opel P1MT y P1MO. Por otro lado, en la zona Seat se fabrican solo los salpicaderos de los modelos Seat Leon SE380 y SE316. Y en la zona Mercedes, que, como se puede ver en la [Ilustración 2](#), es la más pequeña de las tres, se fabrican únicamente los escalones del modelo VS20 y el embellecedor de plástico de ese mismo modelo.

2.3. Conclusión.

En este apartado se ha mostrado una visión general de la distribución de la planta de MRA, donde se fabrican y montan distintas partes de vehículos de las marcas Seat, Opel y Mercedes. La actividad que predomina, como ya se ha visto, es la fabricación y montaje de puertas y salpicaderos.

3. Organización actual de la logística interna.

3.1. Introducción.

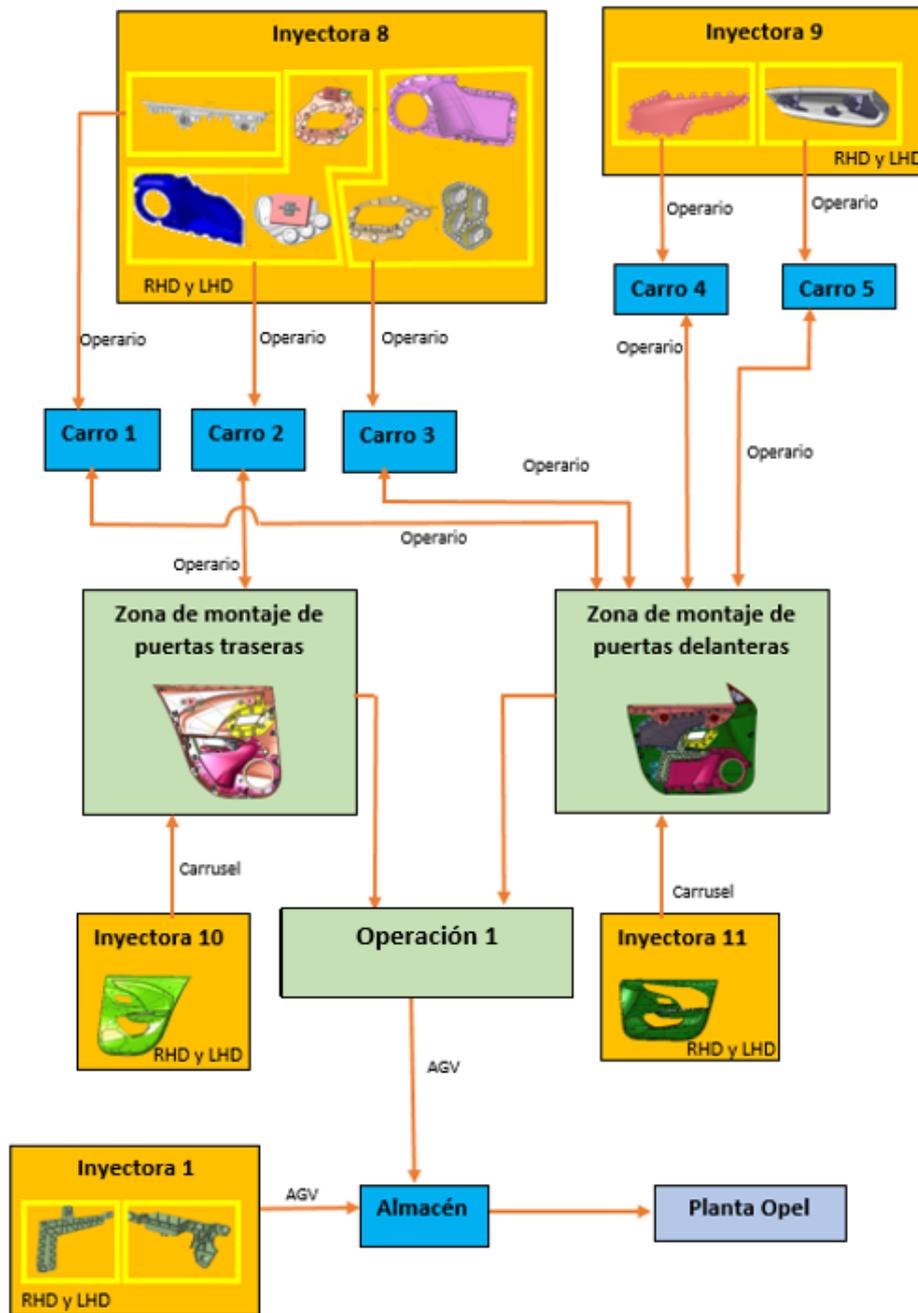
Una vez que se sabe cuáles son las actividades que se desarrollan en la planta, se puede llevar a cabo el estudio de todos los flujos de movimiento que se tienen dentro de ella, para poder ver cuál es la organización actual de su logística interna.

Para ello, este apartado se centra en los procesos de fabricación de las puertas y el salpicadero del modelo Opel Corsa P2JO y en la fabricación del salpicadero de los modelos Seat León SE380 y SE316, ya que los elementos que se fabrican en la zona de Mercedes y en la zona del modelo Opel P1MO y P1MT, una vez fabricados van directamente a almacén mediante AGVs filoguiados.

Por motivos de confidencialidad, las operaciones que se realizan en cada momento se nombrarán numeradas, es decir, sin explicar cuál es la operación que se realiza.

3.2. Fabricación de las puertas del modelo Opel Corsa, P2JO.

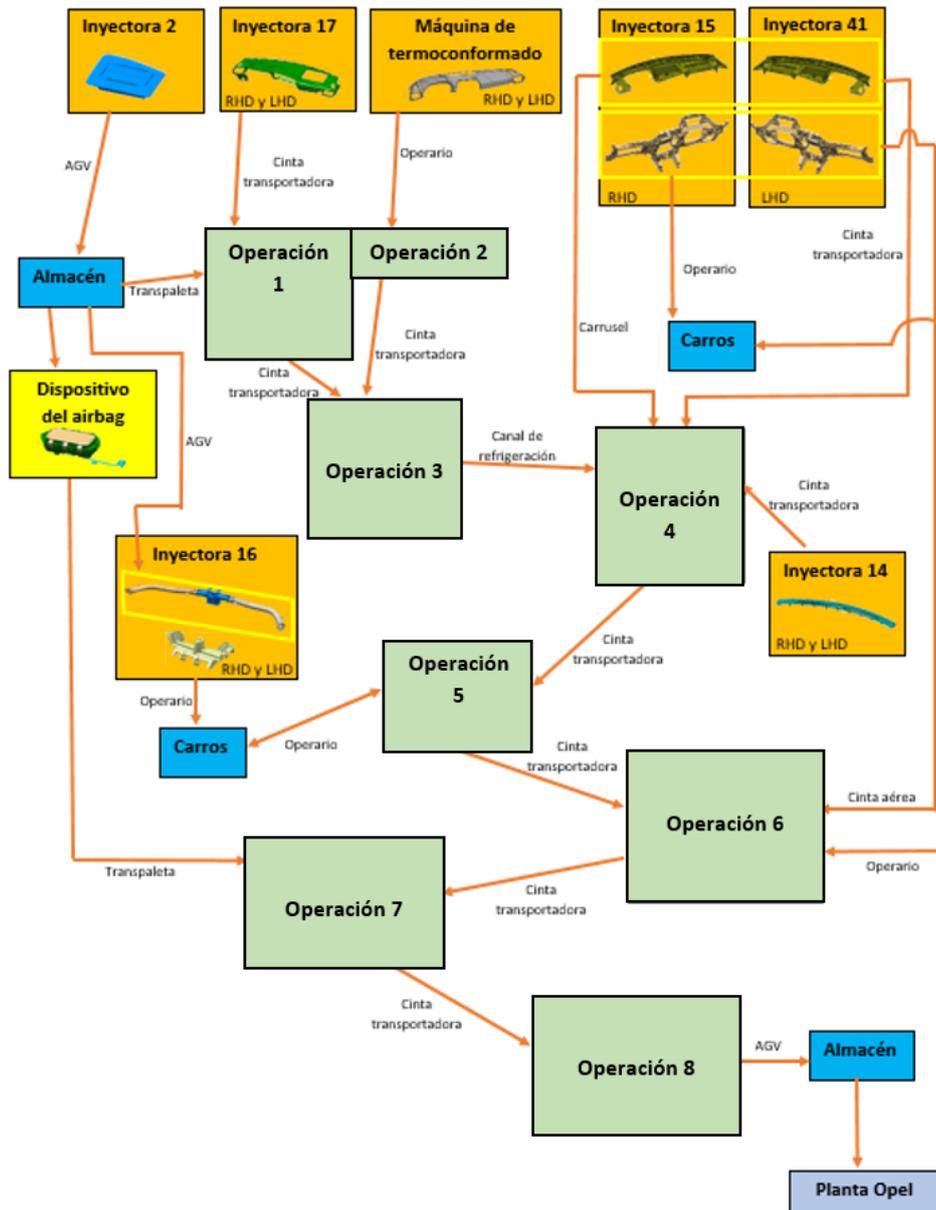
La fabricación de las puertas del Opel Corsa P2JO se realiza en dos líneas, línea RHD y línea LHD, ya que se fabrican puertas derechas e izquierdas, siendo la frecuencia de fabricación RHD y LHD la misma. En el siguiente esquema se ven todas las acciones que se realizan junto con los flujos de movimiento de piezas.



Esquema 1. Proceso de fabricación de las puertas del modelo Opel Corsa, P2JO.
(Fuente: Elaboración propia)

3.3. Fabricación de salpicadero del modelo Opel Corsa, P2JO.

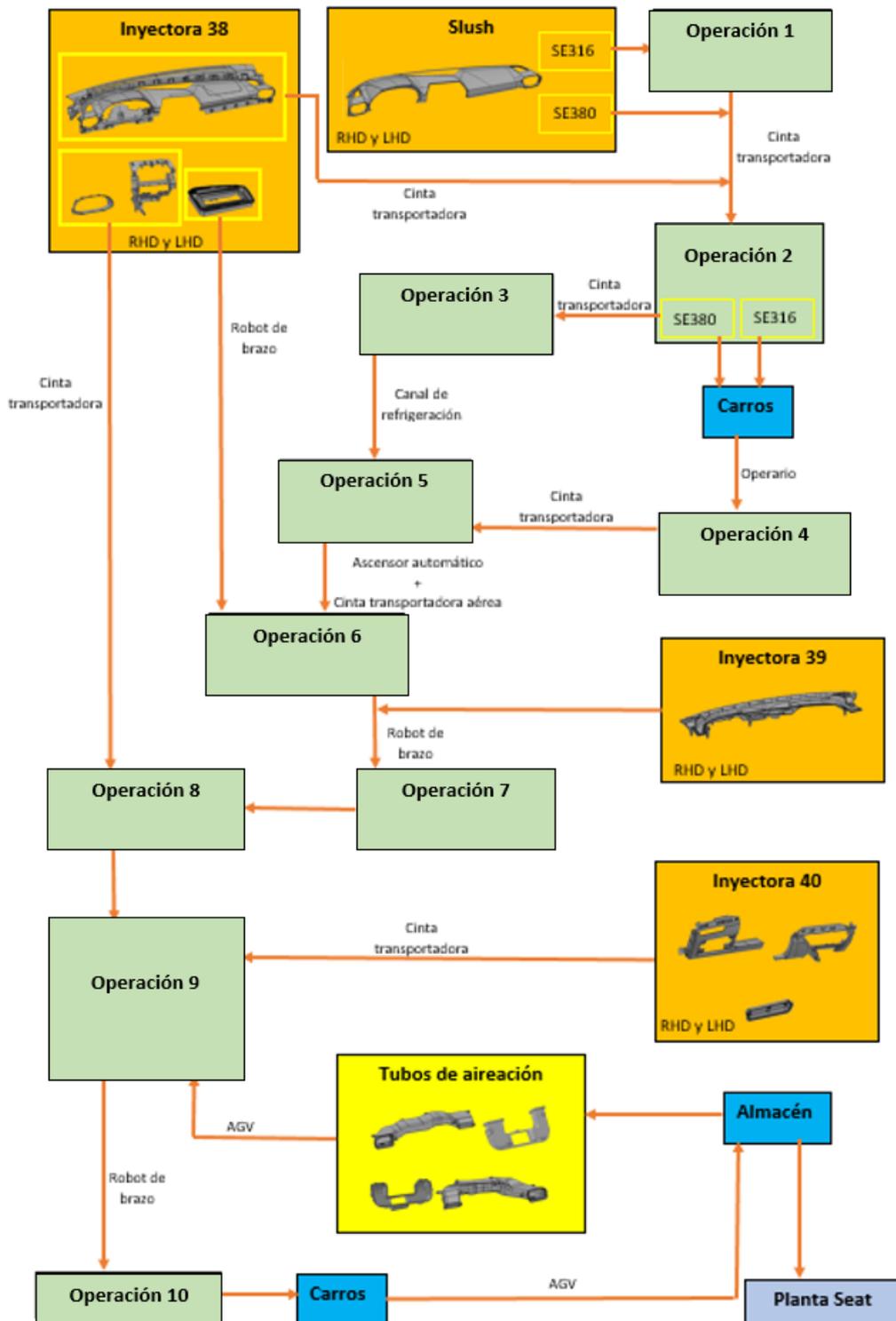
La fabricación del salpicadero del Opel Corsa P2JO se realiza también en dos líneas, línea RHD y línea LHD, ya que se fabrican para conducción derecha y para conducción izquierda. Sin embargo, la frecuencia de fabricación LHD es mayor que la de fabricación RHD. En el siguiente esquema se ven todas las acciones que se realizan junto con los flujos de movimiento de piezas.



Esquema 2. Proceso de fabricación del salpicadero del modelo Opel Corsa, P2JO.
(Fuente: Elaboración propia)

3.4. Fabricación de salpicadero del modelo Seat Leon, SE380 y SE316.

En la fabricación del salpicadero del coche Seat Leon se pueden distinguir dos modelos, el SE380 y el SE316, y al igual que en el caso del salpicadero del Opel Corsa se fabrican RHD y LHD. Sin embargo, la frecuencia de fabricación RHD es mucho menor, aproximadamente de un 10%. En el siguiente esquema se ven todas las acciones que se realizan junto con los flujos de movimiento de piezas.



*Esquema 3. Proceso de fabricación del salpicadero del modelo Seat Leon, SE380 y SE316.
(Fuente: Elaboración propia)*

3.5. Conclusión.

Como se ha podido ver, casi todos los movimientos de piezas están ya automatizados mediante AGVs filoguiados, cintas transportadoras o robots de brazo. Sin embargo, hay movimientos que todavía no se han automatizado, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

PROCESO	MOVIMIENTO
PUERTAS OPEL CORSA, P2JO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Llenado de los carros. ➤ Movimiento de los carros llenos a las zonas de montaje de puertas. ➤ Movimiento de carros vacíos de las zonas de montaje al lugar de almacenamiento de carros vacíos.
SALPICADERO OPEL CORSA, P2JO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Llenado de los carros de la piel del salpicadero. ➤ Traslado de los carros llenos y vacíos de la piel del salpicadero. ➤ Llenado de los carros del 'Carrier⁷ RHD' ➤ Traslado de los carros llenos y vacíos del 'Carrier RHD'. ➤ Llenado de los carros del 'Conjunto defroster⁸' y 'Central Lower Duct⁹' ➤ Traslado de los carros llenos y vacíos del 'Conjunto defroster' y 'Central Lower Duct'. ➤ Traslado de los dispositivos del airbag¹⁰ desde almacén hacia la operación 7.
SALPICADERO SEAT LEON, SE380 Y SE316	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Traslado de los carros desde la operación 2 hacia la operación 4.

*Tabla 1. Movimientos no automatizados.
(Fuente: Elaboración propia)*

En el siguiente apartado, se estudiará cuáles de estos movimientos es más factible automatizar en este momento.

⁷ Nombre que recibe una de las piezas que se fabrica en la inyectora 15 (RHD) y en la inyectora 41 (LHD).

⁸ Nombre que recibe el conjunto de tres piezas provenientes de proveedor una vez ensambladas en la zona de la inyectora 16.

⁹ Nombre que recibe la pieza fabricada en la inyectora 16.

¹⁰ Pieza proveniente de proveedor que se ensambla en el salpicadero junto con el canal de disparo del airbag el cual es fabricado en la inyectora 2.

4. Características del suministro logístico que se desea automatizar.

4.1. Introducción.

En el apartado anterior se ha visto cuáles son los movimientos que todavía no se han automatizado dentro de la fábrica de MRA.

El suministro de piezas que se desea automatizar es el traslado de algunos de los diferentes carros nombrados. A continuación, se describirá dicho suministro de piezas, así como la cantidad de carros que se necesitan trasladar por día y su frecuencia.

4.2. Logística interna actual de los traslados que se quieren automatizar.

Como ya se ha visto, en la producción de las puertas y el salpicadero del modelo Opel Corsa P2JO, se utilizan una serie de carros para trasladar diferentes piezas de estos elementos desde la zona de inyección hasta la zona de montaje. En la [tabla 1](#) se nombran los movimientos de carros que todavía no se han automatizado. Sin embargo, algunos de ellos no merece la pena automatizarlos, bien porque el recorrido del traslado del carro es muy corto o porque no hay suficiente espacio para ello, o bien porque no es viable económicamente, al realizar dicha tarea un operario que realiza también otras tareas que no se pueden automatizar.

Los movimientos que se desean automatizar son el movimiento de los carros llenos y vacíos de las piezas de las puertas. El traslado de los carros llenos y vacíos del 'Conjunto defroster' y 'Central Lower Duct' del salpicadero en un principio se iba a automatizar, sin embargo, el operario que realiza ese traslado, además de ese traslado de carros se dedica a otras tareas que no se pueden automatizar, por lo tanto, es innecesario añadirle esta tarea al robot, ya que no se obtendría ningún ahorro de ello, además de que podría suponer la necesidad de un robot adicional y, por consiguiente, una inversión mayor. Por ello, el estudio de la logística de este tipo de carros se ha trasladado al Anexo II, ya que podría ser útil para proyectos futuros.

Así pues, en las siguientes imágenes se muestran cuáles son las piezas que se depositan en los carros cuyo traslado se va a automatizar. La nomenclatura de cada una de las piezas corresponde a la utilizada en la fábrica.

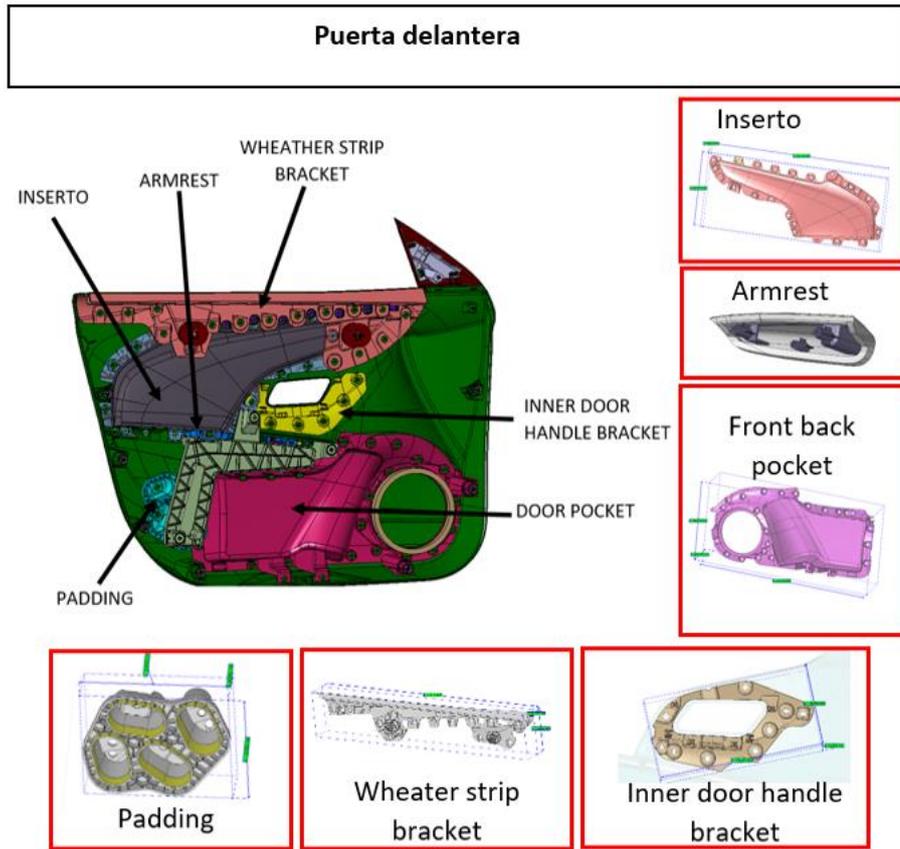


Ilustración 3. Piezas de las puertas delanteras, modelo Opel Corsa, P210.
(Fuente: Elaboración propia)

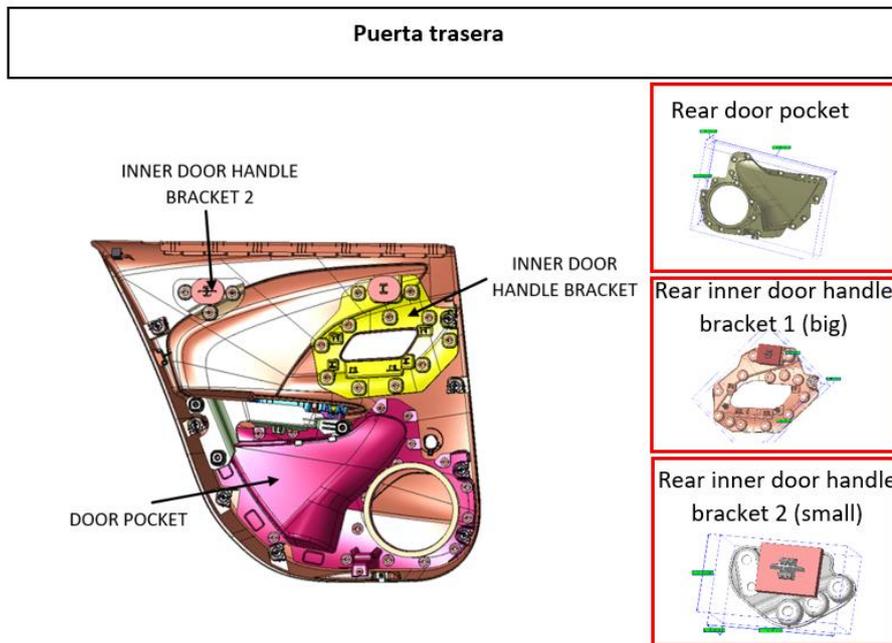


Ilustración 4. Piezas de las puertas traseras, modelo Opel Corsa, P210.
(Fuente: Elaboración propia)

Todos estos elementos se organizan en 5 tipos de carros a la salida de la inyectora. Estos carros se llenan en la zona de salida de la inyectora y una vez llenos se trasladan a su zona de almacenamiento correspondiente, desde donde posteriormente se trasladan a la zona de montaje de las puertas, donde se van vaciando.

La máquina inyectora de los elementos de las puertas trabaja a una velocidad de 60 piezas/hora. Además, se sabe que cada 60 segundos sale un coche, lo que quiere decir que el tiempo que tardará en vaciarse cada carro en la zona de montaje será el mismo que tarda en llenarse, ya que cada coche necesita una pieza de cada tipo.

La fábrica MRA trabaja 24 horas seguidas sin paradas entre turnos de trabajo, pero hay 4 horas (de 6 p.m a 10 p.m) durante las cuales no se fabrican puertas delanteras y 4 horas (de 2 p.m a 6 p.m) durante las cuales no se fabrican puertas traseras, lo que quiere decir que, en teoría, salen 1200 coches por día, ya que son un total de 20 horas para cada uno de los elementos del coche, y cada 60 segundos sale un coche.

Teniendo en cuenta todo esto, se analiza a continuación la información que se tiene de cada uno de los carros.

CARRO 1				
Piezas que contiene	Organización	Cantidad de piezas que caben	Tiempo de llenado y vaciado	Carros totales necesarios/día
Wheater strip bracket	Hay carros RHD para elementos de puertas derechas y carros LHD para elementos de puertas izquierdas.	180	3 horas	7 RHD y 7 LHD

Tabla 2. Información del carro tipo 1.
(Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 5. Carro tipo 1.
(Fuente: Elaboración propia)

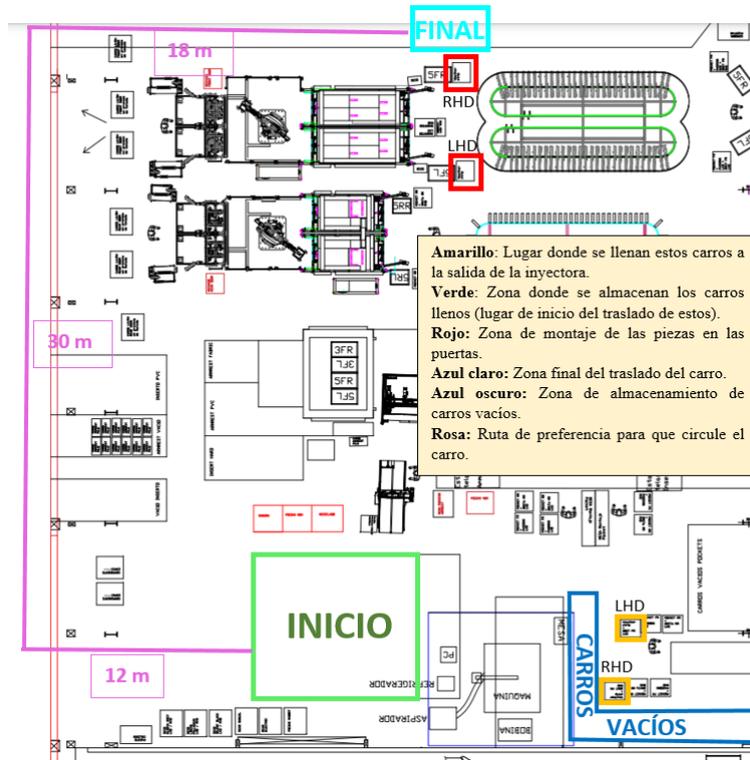


Ilustración 6. Orígenes y destinos carros tipo 1.
(Fuente: Elaboración propia)

CARRO 2				
Piezas que contiene	Organización	Cantidad de piezas que caben	Tiempo de llenado y vaciado	Carros totales necesarios/día
Rear door pocket	Hay carros RHD para elementos de puertas derechas y carros LHD para elementos de puertas izquierdas.	96	1 hora y 36 minutos	13 RHD y 13 LHD
Inner door handle bracket 1		96		
Inner door handle bracket 2		96		

Tabla 3. Información del carro tipo 2.
(Fuente: Elaboración propia)

CARRO 3				
Piezas que contiene	Organización	Cantidad de piezas que caben	Tiempo de llenado y vaciado	Carros totales necesarios/día
Front Back Pocket	Hay carros RHD para elementos de puertas derechas y carros LHD para elementos de puertas izquierdas.	72	1 hora y 12 minutos	17 RHD y 17 LHD
Inner Door Handle Bracket		72		
Padding		72		

Tabla 4. Información del carro tipo 3.
(Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 9. Carro tipo 3.
(Fuente: Elaboración propia)

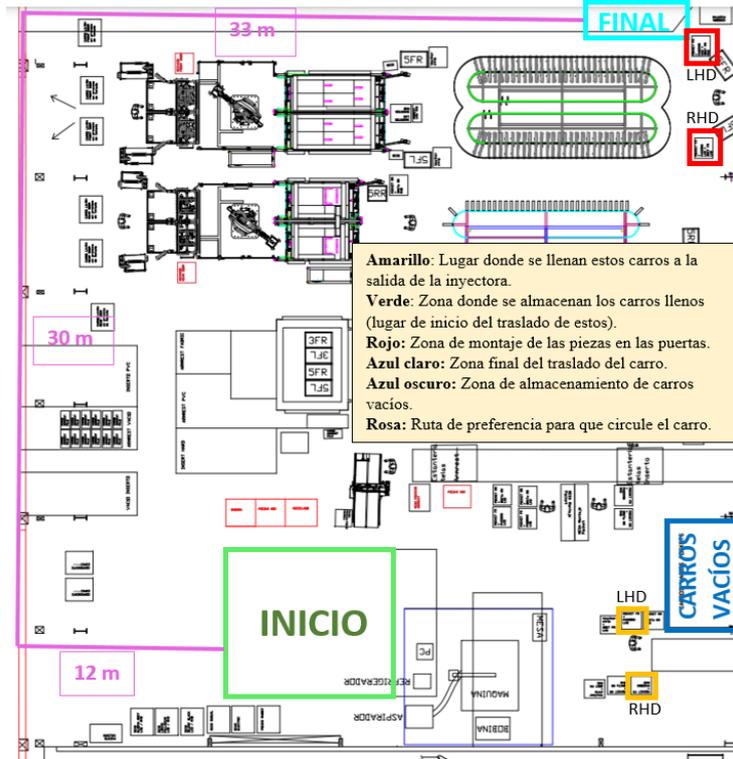


Ilustración 10. Orígenes y destinos carros tipo 3.
(Fuente: Elaboración propia)

CARRO 4				
Piezas que contiene	Organización	Cantidad de piezas que caben	Tiempo de llenado y vaciado	Carros totales necesarios/día
Inserto RHD	Las piezas RHD se introducen en un lado del carro y las LHD en el otro lado.	120	2 horas	10
Inserto LHD		120		

Tabla 5. Información del carro tipo 4.
(Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 11. Carro tipo 4.
(Fuente: Elaboración propia)

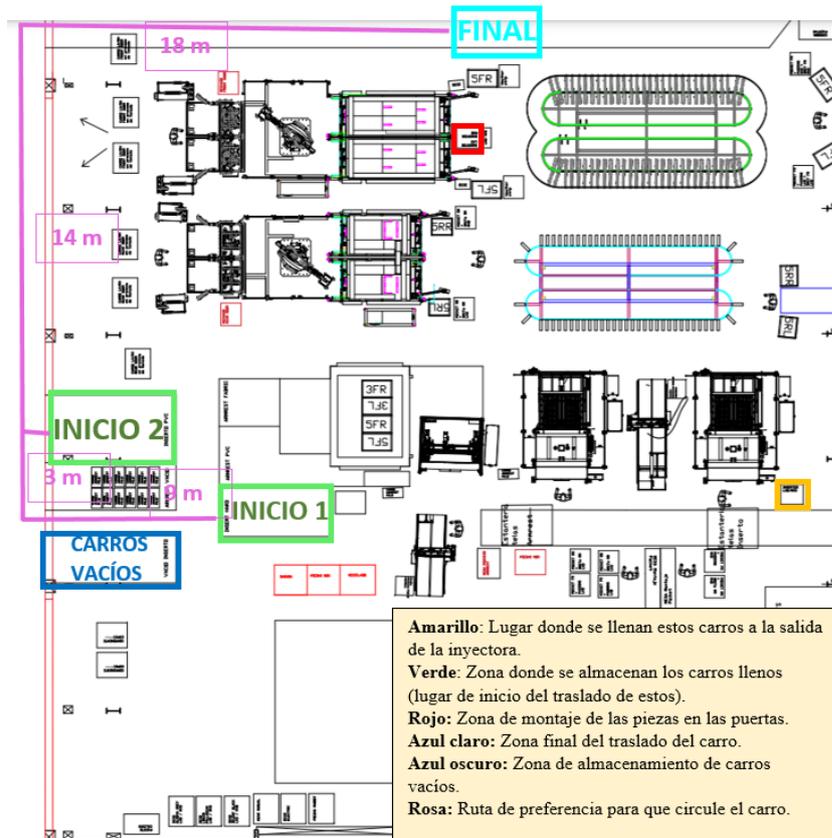


Ilustración 12. Orígenes y destinos carros tipo 4.
(Fuente: Elaboración propia)

CARRO 5				
Piezas que contiene	Organización	Cantidad de piezas que caben	Tiempo de llenado y vaciado	Carros totales necesarios/día
Armrest RHD	Las piezas RHD se introducen en el lado derecho del carro y las LHD en el lado izquierdo, habiendo un espacio de separación entre ellas.	128	2 horas y 08 minutos	10
Armrest LHD		128		

Tabla 6. Información del carro tipo 5.
(Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 13. Carro tipo 5.
(Fuente: Elaboración propia)

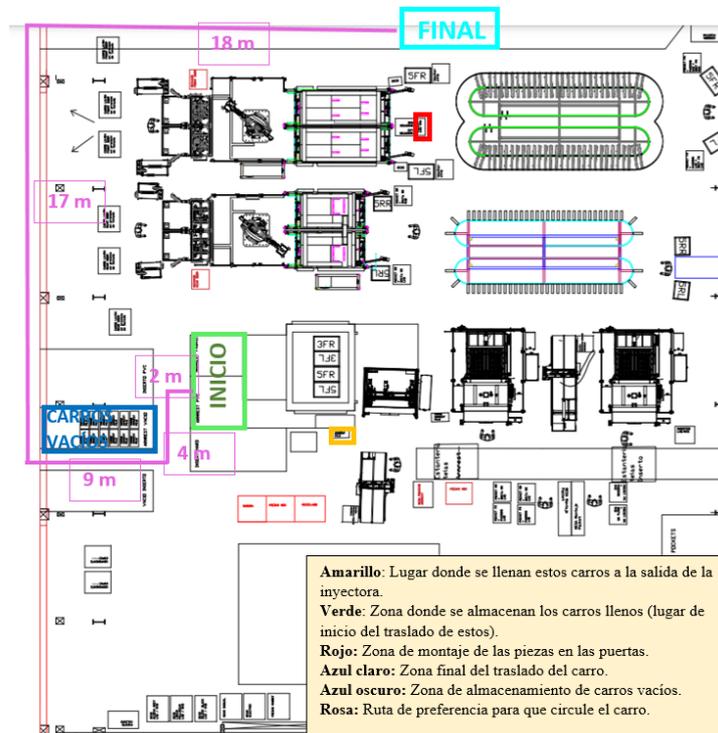


Ilustración 14. Orígenes y destinos carros tipo 5.
(Fuente: Elaboración propia)

4.3. Conclusión.

En este apartado se ha visto que se tienen un total de 5 carros cuyo movimiento se podría automatizar en este momento. Se ha visto cuáles son los elementos que se trasladan en cada uno de ellos, su recorrido y su frecuencia de movimiento. En la siguiente tabla se recogen los datos a tener en cuenta para la automatización de dichos movimientos.

Tipo carro	Tiempo llenado	Tiempo vaciado	Carros/día	Frecuencia movimiento 6 a.m- 2 p.m	Frecuencia movimiento 2 p.m- 6 p.m	Frecuencia movimiento 6 p.m-10 p.m	Frecuencia movimiento 10 p.m-6 a.m
Carro 1	3 h	3 h	7 RHD y 7 LHD	3 h	3 h	-	3 h
Carro 2	1 h 36 min	1 h 36 min	13 RHD y 13 LHD	1 h 36 min	-	1 h 36 min	1 h 36 min
Carro 3	1 h 12 min	1 h 12 min	17 RHD y 17 LHD	1 h 12 min	1 h 12 min	-	1 h 12 min
Carro 4	2 h	2 h	10	2 h	2 h	-	2 h
Carro 5	2 h 08 min	2 h 08 min	10	2 h 08 min	2 h 08 min	-	2 h 08 min

Tabla 7. Datos necesarios para la automatización de los movimientos.
(Fuente: Elaboración propia)

5. Entorno tecnológico.

5.1. Introducción.

La tecnología ha evolucionado mucho en los últimos años, por lo que las empresas y fábricas deben evolucionar al mismo ritmo para no quedarse obsoletas. Uno de los mayores avances tecnológicos ha sido el AGV, un vehículo industrial inteligente.

El traslado de material dentro de la fábrica de un lado a otro es un proceso fundamental, sin embargo, no aporta ningún valor al producto final. Además, estos movimientos suelen ser repetitivos lo cual es algo desmotivador para los operarios que lo llevan a cabo.

En este apartado se detalla información acerca de la tecnología de los vehículos autónomos, los tipos existentes en el mercado y sus ventajas e inconvenientes.

5.2. Definición de AGV, ventajas e inconvenientes.

En el artículo *AGV, los vehículos industriales inteligentes: Automatismos y Sistemas de Transporte Interno, S.A.U., ASTI 10/03/2010*) definen lo que es un AGV:

“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”. [3]

Además, los AGVs también han ido evolucionando hacia robots todavía más autónomos, los llamados AIVs (Autonomous Intelligent Vehicles) o AMRs (Autonomous Mobile Robots). Estos robots se diferencian de los anteriores en que pueden navegar de modo natural sin necesidad de sistemas de guiado, siendo capaces de buscar rutas alternativas en caso de encontrarse con un obstáculo. [4]

En el Anexo III se muestran más características de estos sistemas.

La implantación de estos sistemas lleva consigo múltiples **ventajas** [4][5][6], pero también tiene ciertos **inconvenientes** [6]. En la siguiente tabla se pueden ver todos ellos.

VENTAJAS	DESCRIPCIÓN	INCONVENIENTES	DESCRIPCIÓN
Mayor eficiencia	Se mejora el flujo de los materiales ya que el robot realiza los movimientos de la forma más eficiente posible, buscando la ruta más corta o menos transitada.	Inversión inicial	La implantación de estos vehículos autónomos requiere de una inversión inicial que puede no resultar rentable a corto o medio plazo.
Mayor seguridad	Gracias al uso de escáneres y sensores que analizan constantemente el entorno se reducen los accidentes laborales y daños en las mercancías.	Desempleo	Las personas que hasta el momento se encargaban del transporte de las mercancías son innecesarias al implementar esta tecnología, por lo que se prescinde de ellas aumentando el desempleo.
Trazabilidad	La comunicación del AGV con los softwares de gestión de la planta en todo momento, evita el extravío o pérdida de productos.	No aptos para exteriores	La mayoría de vehículos autónomos están diseñados para funcionar en suelos secos y sin muchas variaciones. Un suelo húmedo o desigual puede entorpecer sus desplazamientos.
Mayor flexibilidad	Existen distintos tipos de vehículos autónomos, pudiendo seleccionar el que más se adapte a cambios en la carga o el entorno o en algunos casos programarlos a medida para cada proyecto.	Normativa	Como cualquier producto, los vehículos autónomos deben cumplir una serie de normativas de seguridad, las cuales pueden limitar su implantación en la fábrica. En el Anexo V se detalla información acerca de dicha normativa.
Optimización del tiempo	Reducción del tiempo de transporte de mercancías lo cual incide en un aumento de productividad.		
Ahorro de costes	Disminuyen los costes por daños causados a las cargas durante los transportes, además de eliminar los gastos de mantenimiento de los empleados dedicados a ello.		
Ahorro de espacio	Se reduce el número de carros necesarios tanto en la salida de las inyectoras como en las zonas de montaje, por lo que también se reduce el espacio necesario para almacenarlos.		
Automatización Industrial	Esta automatización es un símbolo de progreso para la empresa, de evolución tecnológica. Es importante que las empresas evolucionen a la vez que evoluciona la tecnología.		
Compatibilidad	Estos vehículos inteligentes son compatibles con la presencia de otros vehículos o máquinas o la presencia de humanos, incluso de forma colaborativa con ellos.		

Tabla 8. Ventajas e inconvenientes de la implantación de vehículos autónomos.
(Fuente: Elaboración propia)

5.3. Tipos de navegación.

Para seleccionar un AGV concreto lo que interesa es su modo de navegación más que la manera en que este traslada la carga, por ello, en este apartado se muestra una tabla resumen de los diferentes tipos de navegación que existen y sus características, explicándose más detalladamente en el Anexo IV. En el mismo anexo se explican también los tipos de vehículos autónomos existentes en cuanto a su forma de trasladar la carga.

Tipo de navegación		Acciones antes de implantación	Método de guiado	Ventajas	Inconvenientes
Filoguiado	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 colores, pegada al suelo.	Por magnetismo o por reconocimiento de color.	- La cinta se puede quitar y reubicar.	- No puede utilizarse en áreas de mucho tráfico ya que puede dañarse o ensuciarse. - Método menos preciso
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 (giroscópica) (IGV)		Perforaciones en el suelo de 12mm de diámetro y 20mm 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 el AGV en su camino.	- Flexibilidad y reducido coste de re-configuración. - Puede funcionar en pasillos estrechos o temperaturas extremas	- Alto coste. - Limitación de la previa instalación de los discos.
Navegación natural (AMR o AIV)	Sistema sonar o LIDAR	Pasear al vehículo manualmente por el entorno para crear un mapa 2D de este.	Lectura continua del entorno del AGV para estimar su posición.	- No necesita la instalación de ningún elemento externo. - Pueden cambiar su trayectoria en cualquier momento, evitar obstáculos y elegir la ruta más óptima. - Son los mejores en cuanto a flexibilidad y precisión.	Se obtiene menos información que con sistema de visión.
	Sistema de visión	Pasear al vehículo manualmente por el entorno para crear un mapa 3D de este			Son necesarios algoritmos más potentes y complejos

Tabla 9. Tipos de AGV según tipo de navegación y sus características.
(Fuente: Elaboración propia)

5.4. Conclusión.

Con todo lo expuesto anteriormente, se ha visto que son muchos los tipos de vehículos automatizados que existen, sin embargo, se pueden dividir en los que necesitan una infraestructura previa y los que no la necesitan, como los AIVs. En la siguiente tabla se puede ver las diferencias que hay entre estos AIVs y el resto de vehículos, que se englobarán bajo la denominación de AGV.

	AGV	AIV
INFRAESTRUCTURA	Necesita una instalación física previa en el entorno.	No es necesario realizar ninguna instalación física en el entorno.
GUÍA	Requiere una guía física.	No necesita ninguna guía física.
OBSTÁCULOS	Incapaz de esquivar obstáculos.	Busca ruta alternativa al encontrarse con un obstáculo.
RUTA	Solo puede moverse por una ruta fijada.	Puede crear rutas y moverse de forma autónoma gracias al mapeado inicial.

Tabla 10. Diferencias entre AGVs y AIVs.
(Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto, el AGV se podría asemejar a un tranvía que siempre sigue una ruta y no puede esquivar obstáculos mientras que el AIV podría asemejarse a un taxi, pudiendo trasladarse por distintas rutas para llegar a su destino final y siendo capaz de esquivar obstáculos.

6. Criterios de selección considerados.

6.1. Introducción.

El objetivo de este proyecto es encontrar la mejor solución para la automatización del suministro logístico que se ha explicado en apartados anteriores. Para ello se van a definir los criterios de selección considerados en cuanto a los AGVs, valorándolos y ponderándolos, con el fin de encontrar el más adecuado para la fábrica.

Son numerosos los criterios que hay que tener en consideración, por lo que se va a aplicar el método de decisión multicriterio AHP (Analytic Hierarchy Procces o análisis jerárquico de proceso) propuesto por Tomas L. Saaty en 1980, que se basa en reducir una decisión compleja a una serie de comparaciones más sencillas por parejas, incorporando aspectos objetivos y subjetivos en la decisión. [\[12\]](#)

6.2. Identificación de los criterios de selección.

A mayor cantidad de criterios de selección, más fiable será la alternativa seleccionada, sin embargo, también será mayor el nivel de complejidad de resolución del problema. Por lo tanto, es importante escoger los criterios con mayor relevancia en este proyecto.

Los criterios a considerar en este proyecto pueden dividirse a su vez en 4 categorías, criterios económicos, criterios técnicos, criterios operacionales y criterios estratégicos. En las siguientes tablas se describe cada uno de ellos, así como sus subcriterios.

CRITERIOS ECONÓMICOS	
Es uno de los factores más importantes a considerar, ya que depende de ello que el proyecto sea rentable o no y por tanto salga o no adelante.	
SUBCRITERIOS	DESCRIPCIÓN
Coste de cada AGV	Incluye el coste de un AGV adicional a los adquiridos inicialmente que puede servir de repuesto o para cubrir posibles aumentos de producción.
Inversión total (5 años)	La duración del proyecto será de aproximadamente 5 años, por lo que no interesa comprar, sino alquilar. Incluye el coste total que supone el arrendamiento de los robots durante 5 años.
Costes de mantenimiento	Incluye los costes de reparación de los posibles problemas que puedan tener estos robots.
Renting industrial	Debido a que la tecnología está constantemente avanzando y en unos años puede que interese cambiar la forma de mover los carros, la mejor opción sería el arrendamiento de los robots por un tiempo determinado mediante el pago de varias cuotas, por lo que se valorará positivamente una mejor oferta de renting.
Vida útil	La vida útil del robot es un criterio importante, ya que no es lo mismo realizar una inversión para una duración de 1 año que para una duración de 5 años, por lo que se valorará positivamente una mayor vida útil de los robots.

Tabla 11. Descripción de criterios económicos que se van a considerar en la elección del robot.
(Fuente: Elaboración propia)

CRITERIOS TÉCNICOS	
El robot seleccionado debe cumplir de la forma más eficaz posible el proceso para el que se quiere utilizar.	
SUBCRITERIOS	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.
Modificación de infraestructura	Como ya se ha visto, según el tipo de navegación que utiliza el robot, se requieren más o menos modificaciones en la planta, por lo que, en la selección, se incluirán solo robots con navegación natural, para la cual no es necesaria ninguna modificación de infraestructura y, dentro de estos, se valorará positivamente la necesidad de realizar el menor número de modificaciones en los carros actualmente usados.
Área	El área del robot influye en su movimiento por las zonas de la planta. La anchura mínima por la que va a tener que pasar el robot es de 1,7 m, por lo que es necesario que el robot seleccionado sea capaz de pasar por dicho pasillo. 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 muy pequeño.
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 esquivar posibles obstáculos o emitir un mensaje acústico para que las personas que lo oigan den solución a cualquier posible problema que pueda surgir.

Tabla 12. Descripción de criterios técnicos que se van a considerar en la elección del robot.
(Fuente: Elaboración propia)

CRITERIOS OPERACIONALES	
Según las especificaciones de los robots, la eficacia de la solución al problema planteado será mejor o peor, e interesa tener la mejor eficacia posible.	
SUBCRITERIOS	DESCRIPCIÓN
Autonomía	Una mayor autonomía de los robots se traduce en un menor número de robots necesarios. Los robots han de ser capaces de realizar la tarea que se les asigna sin necesidad de tener un operario que se encargue de asegurarse de que lo hace bien. Dentro de la autonomía del robot también se considera la forma de recarga de batería, así como su duración, considerando solo los robots con un modelo de recarga Opportunity Charging automática, sin necesidad de ningún operario para ello y valorando positivamente una mayor duración de esta.
Velocidad	El tiempo entre diferentes movimientos dentro de la planta debe ser suficiente para que el robot realice dichos movimientos. A mayor velocidad del robot, más tiempo tendrá el robot para realizar otros movimientos, lo cual también reducirá el número de robots necesarios.
Capacidad	La carga máxima que va a tener que trasladar el robot elegido es de unos 120 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.
Altura	La altura del robot influye en su capacidad para trasladar los carros que actualmente se están usando, ya que, este debe caber por la zona de mínima altura de los carros utilizados. De lo contrario, será necesaria una modificación del carro o cambiar el método de sujeción a este por un brazo instalado en el robot que agarre el carro y lo arrastre, lo cual también se considera como una opción. Se valorará positivamente una altura menor del robot.

Tabla 13. Descripción de criterios operacionales que se van a considerar en la elección del robot.
(Fuente: Elaboración propia)

CRITERIOS ESTRATÉGICOS	
La capacidad de los robots para adaptarse a posibles modificaciones del layout de la nave, frecuencia de movimientos, etc. es un criterio que también hay que tener en cuenta a la hora de hacer la selección, ya que podría evitar costes adicionales a medio y largo plazo. Además, también se tendrá en cuenta la confianza que se tiene en cada uno de los proveedores.	
SUBCRITERIOS	DESCRIPCIÓN
Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	Frente a variaciones en la demanda de piezas, la frecuencia de los movimientos que deben realizar los robots 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 nave, 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.
Confianza en la tecnología	Una buena reputación del proveedor de los robots transmite confianza en que el robot cumplirá con lo acordado, por lo que también es un criterio a tener en cuenta. También se incluye en este criterio la posibilidad de contar con el proveedor de cada robot para posibles proyectos futuros.

Tabla 14. Descripción de criterios estratégicos que se van a considerar en la elección del robot.
(Fuente: Elaboración propia)

Una vez definidos todos los criterios y subcriterios, se pasa a su valoración y ponderación con el fin de definir prioridades entre ellos.

6.3. Valoración de los criterios de selección.

Una vez definidos los criterios y subcriterios, se pasa a aplicar el método AHP, en primer lugar, para los criterios del nivel 1 utilizando una matriz de comparación pareada siguiendo las reglas de la escala fundamental de la [Tabla 15. \[13\]](#)

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	

Tabla 15. Escala fundamental para método de decisión multicriterio AHP.
(Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/saaty/>)

El resultado al que se llega aplicando dicho método, explicado con más detalle en el Anexo VI, es el siguiente.

	PRIORIDAD
C. Económicos	58%
C.Técnicos	15%
C.Operacionales	20%
C.Estratégicos	7%

Tabla 16. Prioridades de los criterios principales.
(Fuente: Elaboración propia)

A continuación, se hará lo mismo con los subcriterios de cada uno de los criterios principales, lo cual se explica con más detalle también en el Anexo VI.

- **Criterios económicos**

Dentro de los criterios económicos se tienen 4 subcriterios, teniendo cada uno de ellos una importancia diferente. Para determinar esta importancia se comparan entre ellos de la misma manera que se han comparado los criterios del nivel 1. De esta manera, se obtiene el siguiente vector de prioridades.

	PRIORIDAD
Coste de cada AGV	10%
Inversión total (5 años)	43%
Costes de mantenimiento	7%
Renting industrial	27%
Vida útil	17%

Tabla 17. Prioridades de los subcriterios económicos.
(Fuente: Elaboración propia)

- **Criterios Técnicos**

Dentro de los criterios técnicos se tienen 5 subcriterios. Para determinar la importancia de cada uno de ellos se procede como en los casos anteriores, llegando al siguiente resultado.

	PRIORIDAD
Seguridad	46%
Modificación de infraestructura	5%
Área	14%
Radio de giro	9%
Comunicación	26%

*Tabla 18. Prioridades de los subcriterios técnicos.
(Fuente: Elaboración propia)*

- **Criterios operacionales.**

Dentro de los criterios operacionales se consideran 5 subcriterios. Aplicando el método como anteriormente se llega al siguiente resultado.

	PRIORIDAD
Autonomía	23%
Velocidad	5%
Capacidad	10%
Precisión	48%
Altura	15%

*Tabla 19. Prioridades de los subcriterios operacionales.
(Fuente: Elaboración propia)*

- **Criterios estratégicos.**

En el caso de los criterios estratégicos son 3 subcriterios los que se consideran. Aplicando el método se llega al siguiente resultado.

	PRIORIDAD
Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	58%
Flexibilidad frente a modificaciones del layout	34%
Confianza en la tecnología	8%

*Tabla 20. Prioridades de los subcriterios estratégicos.
(Fuente: Elaboración propia)*

6.4. Conclusión.

En este apartado se han definido y valorado cada uno de los criterios a considerar para la selección de las diferentes alternativas de vehículos autónomos. Se han realizado comparaciones pareadas mediante el método de selección multicriterio AHP, resultando verdaderamente útil y obteniendo el peso que tienen cada uno de los criterios y subcriterios. En la siguiente tabla se muestran las prioridades de los criterios del nivel 1, las prioridades de los subcriterios y las prioridades globales que se obtienen.

Criterios	Prioridades	Subcriterios	Prioridades locales	Prioridades globales
Criterios económicos	58%	Coste de cada AGV	10%	5,93%
		Inversión total (5 años)	43%	25,01%
		Costes de mantenimiento	7%	3,79%
		Renting industrial	27%	15,62%
		Vida Útil	17%	9,63%
Criterios técnicos	15%	Seguridad	46%	6,96%
		Modificación de infraestructura	5%	0,71%
		Área	14%	2,05%
		Radio de giro	9%	1,35%
		Comunicación	26%	3,93%
Criterios operacionales	20%	Autonomía	23%	4,62%
		Velocidad	5%	0,96%
		Capacidad	10%	1,92%
		Precisión	48%	9,53%
		Altura	15%	2,97%
Criterios estratégicos	7%	Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	58%	4,03%
		Flexibilidad frente a modificaciones del layout	34%	2,40%
		Confianza en la tecnología	8%	0,57%

Tabla 21. Tabla resumen de prioridades locales y globales.
(Fuente: Elaboración propia)

Una vez obtenidos los pesos globales de cada uno de los criterios se pasa a la definición de cada una de las alternativas, valorando cada una de ellas según los criterios considerados.

7. Definición y valoración de las alternativas.

7.1. Introducción.

La cantidad de vehículos autónomos que existen en el mercado son muchos, sin embargo, no todos ellos cumplen con las exigencias necesarias para este proyecto. De entre todos los proveedores que existen, se han seleccionado tres, los cuales tienen diferentes robots en su cartera de posibilidades.

Los tres proveedores son Omron, MTS tech y Wheel me. Cada uno de ellos recomendaron un robot de su cartera de posibilidades según las características del proyecto e hicieron una oferta de venta o arrendamiento de los robots.

Para la oferta final de cada uno de los 3 proveedores es necesario saber cuál es el número de robots que se necesitan. Estos cálculos se encuentran detallados en el Anexo VII, cuyo resultado es que únicamente se necesita un robot.

En este apartado se describirán y valorarán cada una de las alternativas según los criterios considerados en el apartado anterior y se realizarán comparaciones pareadas entre ellas siguiendo con el método AHP. De esta manera se podrá elegir el robot que más se adecue a las necesidades del proyecto.

7.2. Definición de alternativas.

➤ Omron.

Omron es una empresa japonesa de electrónica con sede en Kioto y proveedores de sus productos por todo el mundo. Uno de ellos, con el que se contactó, se encuentra en Zaragoza.

El negocio principal de Omron es la fabricación y venta de componentes, equipos y sistemas de automatización industrial, pero entre sus áreas de negocio y productos se encuentran también componentes electrónicos como relés, interruptores, micro sensores mecánicos, etc., electrónica del automóvil como componentes de radio para automóviles, sensores de monitoreo de conductor, etc., sistemas sociales como sistemas de control de acceso (sistemas de entrada de edificios), sistemas de gestión de carreteras, etc., cuidado de la salud como tensiómetros de brazo, termómetros digitales, monitores de presión arterial, etc., y otros negocios como distribución de energía y controles para las plataformas de perforación o soluciones ambientales. [14]

Omron define sus robots inteligentes de la siguiente manera en su página web [15]:

Los robots móviles autónomos de OMRON (AMR) están diseñados para aumentar significativamente la productividad en las operaciones de producción y logística. También incrementan el rendimiento, eliminan errores, mejoran la trazabilidad de los materiales y permiten a los empleados centrarse en tareas que requieren habilidades humanas más complejas. Además, a diferencia de los AGV tradicionales, nuestros robots móviles se desplazan por el espacio natural de las instalaciones y no precisan costosas obras de modificación.

Dentro de su cartera de posibilidades se encuentran los mostrados en la siguiente ilustración.



LD-60/90

Robot móvil autónomo (AMR) que trabaja de forma segura con las personas



LD-250

Robot móvil de tamaño mediano con una capacidad de carga útil de 250 kg



HD-1500

El robot móvil más fuerte de OMRON con una capacidad de carga útil de servicio de 1500 kg

Ilustración 15. AIVs de Omron.

(Fuente: https://industrial.omron.es/es/misc/dm/autonomous-mobile-robots?utm_source=homepage&utm_medium=billboard&utm_campaign=SEA_mobile-robots_EMEA)

Como se puede ver en la [Ilustración 15](#), el primero de ellos es el ideal para una carga máxima de unos 90 kg, el segundo para una carga máxima de unos 250 kg y el tercero para una carga máxima de 1500 kg. Los carros que va a tener que mover el robot elegido tienen un peso máximo de unos 120 kg estando llenos, por lo que el robot recomendado fue el LD-250.

A continuación, se realiza un análisis de dicho robot siguiendo los criterios considerados.

CRITERIO	CARACTERÍSTICAS
Coste de cada AGV	47.500,00€, incluye el propio AGV, sistema de anclaje a los carros, cargadores, baterías y licencia flow 5 años.
Inversión total (5años)	91.200,00€
Costes de mantenimiento	1500€/año, por lo que en 5 años será de 7500€
Renting industrial	1395€/mes durante 60 meses
Vida útil	5 años
Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Escáner láser frontal: 240º hasta 40m ✓ Sensor trasero ToF ✓ Tres pulsadores de emergencia ✓ Señalizaciones LED laterales ✓ Señalizaciones acústicas
Modificación de infraestructura	Modificación de carros
Área	963 × 718 mm
Radio de giro	0 mm, gira sobre sí mismo
Comunicación	Comunicación WiFi con el servidor, capaz de esquivar obstáculos y capaz de emitir mensajes de voz
Autonomía	Duración de la batería de 13 horas y ratio de carga 4:1, es decir, 4 horas de carga= 13 horas de tiempo de ejecución.
Velocidad máxima	1,2 m/s
Capacidad	250 kg
Precisión	±10 mm
Altura	383 mm
Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	Capaz de adaptarse a cambios de producción.
Flexibilidad frente a modificaciones del layout	Capaz de adaptarse a cambios en el layout gracias a su navegación natural o SLAM.
Confianza en la tecnología	Proveedor de robots de distintas empresas, entre ellas empresas del sector del automóvil al igual que MRA, como Antolin. Además, instalar brazos robóticos en la fábrica para la colocación de las piezas en los carros podría ser un proyecto futuro, y este proveedor los podría proporcionar, por lo que es probable que se cuente con este proveedor para otros proyectos.

Tabla 22. Análisis del AIV LD-250 de Omron según criterios a considerar.
(Fuente:Elaboración propia)

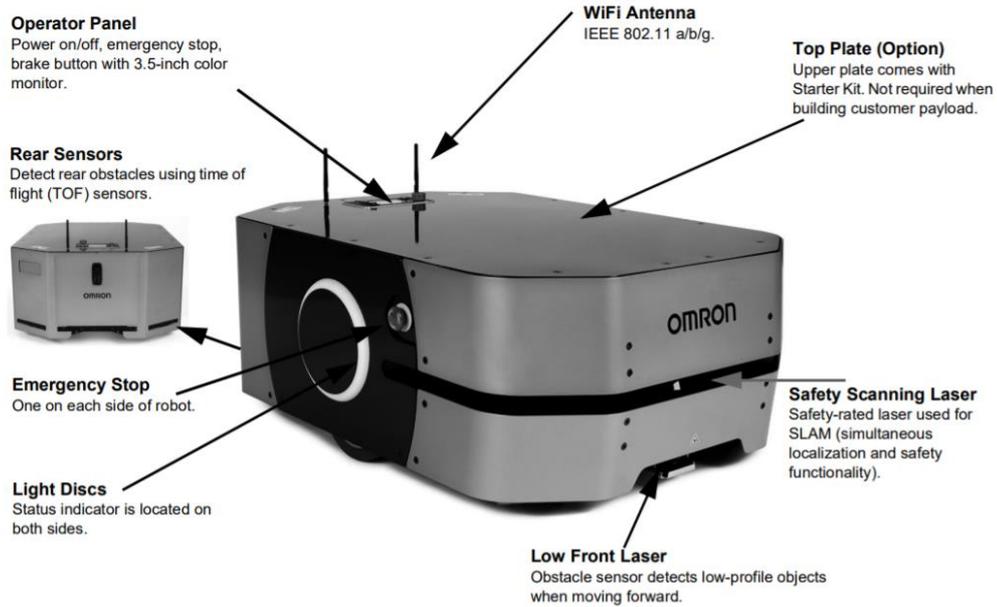


Ilustración 16. Componentes LD-250 Omron.

(Fuente: https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v15/i828_ld-series_mobile_robot_datasheet_en.pdf)

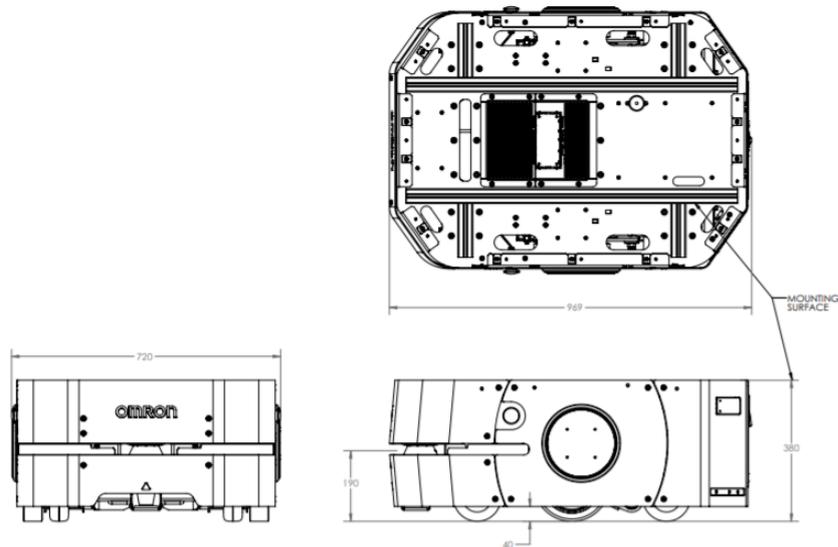


Ilustración 17. Plano LD-250 Omron.

(Fuente: https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v15/i828_ld-series_mobile_robot_datasheet_en.pdf)

➤ MTS tech.

MTS tech es una empresa española dedicada a la distribución de productos y soluciones de intralogística, UVC desinfección, automatizaciones y consultoría. Los Robots móviles que comercializan pertenecen a la empresa danesa Mobile Industrial Robots.

Así es como se define la empresa Mobile Industrial Robots en su perfil de LinkedIn [16]:

Producimos y desarrollamos robots móviles para uso profesional en la industria, empresas de fabricación y hospitales. Nuestra ambición es la automatización del transporte interno. Hacemos hincapié en que nuestros robots móviles son fáciles de configurar y fáciles de usar porque se utilizan en entornos con personas. Nos enfocamos en la seguridad en las maniobras y operaciones. Ofrecemos un sistema móvil robusto. Nuestro objetivo es permitir a nuestros clientes automatizar sus tareas de transporte interno y así liberar recursos de personal para tareas más valiosas en sus negocios.

Y así es como se define la empresa MTS tech en su página web [17]:

MTS es una empresa joven, dinámica y creativa. Está formada por un equipo que aporta una larga experiencia en el sector y nuevas generaciones que apuestan por las nuevas tecnologías. MTS quiere aportar valor a sus clientes alrededor de su proceso, implementando soluciones y tecnologías provenientes de otros sectores. MTS aporta soluciones, no solo productos. MTS está formada por un equipo de ingenieros con una amplia formación y experiencia. Nuestra filosofía es tener una experiencia colaborativa. La suma de nuestros clientes, partners, asociados y universidades hace de MTS una empresa única en la gestión del conocimiento.

Dentro de su cartera de posibilidades se encuentran los mostrados en la [Ilustración 18](#).

MiR1000

El MiR1000 ha sido diseñado para automatizar y optimizar el transporte interno de cargas pesadas y palés. Con una capacidad de carga de 1.000 kg, es el robot más potente de MiR, e incluso en entornos muy dinámicos es capaz de transportar cargas pesadas sin necesidad de medidas de seguridad exteriores.



MiR500



El MiR500 ha sido diseñado para automatizar el transporte de palés y de cargas pesadas en diferentes sectores. Con una carga útil de 500 kg y una superficie de 1350x920 mm, el MiR500 es un robot móvil autónomo colaborativo grande y robusto.

MiR250



El MiR250 es un AMR más flexible que puede funcionar las 24 horas del día y es increíblemente simple de configurar para mejorar la productividad. Su huella más pequeña y su mayor adaptabilidad ayudan a optimizar la logística interna sin cambiar el diseño.

MiR200

El MiR200 es un robot móvil seguro y rentable que automatiza rápidamente sus tareas internas de transporte y logística. El robot optimiza los flujos de trabajo, liberando personal de forma que usted pueda aumentar la productividad y reducir costes.



MiR100

El MiR100 es un robot móvil seguro y rentable que automatiza rápidamente sus operaciones internas de transporte y logística. El robot optimiza los flujos de trabajo, liberando personal de forma que usted pueda aumentar la productividad y reducir costes.



Ilustración 18. AIVs MTS tech.

(Fuente: Elaboración propia con información y fotos de <https://www.mobile-industrial-robots.com/es/>)

El peso máximo que puede levantar cada uno de los carros se corresponde con el número de su nombre, es decir, el MiR1000 levanta como máximo 1000 kg, el MiR500 como máximo 500 kg, etc. El robot que esta empresa recomendó según las necesidades del proyecto fue el **MiR250**, el cual levanta un peso máximo de 250 kg.

A continuación, se realiza un análisis de dicho robot siguiendo los criterios considerados.

CRITERIO	CARACTERÍSTICAS
Coste de cada AGV	49.200,00 €, incluye el propio AGV y el sistema de anclaje a los carros
Inversión total (5años)	92.210,00 €
Costes de mantenimiento	2.650,00€/año, por lo que en 5 años será de 13250€
Renting industrial	1.910,00€/mes durante 36 meses, sin pago inicial y con un residual del 10.200 € si se quiere adquirir la máquina después de 36 meses
Vida útil	5 años
Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Escáneres láser de seguridad SICK (frontal y trasero) Protección visual de 360° alrededor del robot. ✓ Cámara 3D (2 uds.) Intel RealSense D435. FoV: Detecta objetos situados a una altura de 1800 mm y a una distancia de 1200 mm delante del robot. 114° de vista horizontal total. Vista desde el suelo, distancia mínima desde el robot: 250 mm. ✓ Sensores de proximidad (8 uds). ✓ Evitación de colisiones activado por un humano u otro obstáculo en el camino del viaje. ✓ Parada de emergencia que se activa presionando el botón de parada de emergencia. ✓ Señalizaciones acústicas. ✓ Luces indicadoras en los cuatro lados, ocho señales de luces (dos en cada esquina).
Modificación de infraestructura	Modificación de carros
Área	580 × 800 mm
Radio de giro	0 mm, gira sobre sí mismo
Comunicación	Comunicación WiFi con el servidor, capaz de esquivar obstáculos y capaz de emitir mensajes de voz
Autonomía	Duración de la batería de 15 horas aproximadamente y relación de carga 1:17 (por ejemplo, carga de 30 minutos = 8.3 horas de tiempo de ejecución con carga completa) y tiempo de carga del 10% al 90% de 53 mins.
Velocidad máxima	2 m/s
Capacidad	250 kg
Precisión	±5 mm
Altura	383 mm
Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	Capaz de adaptarse a cambios de producción.
Flexibilidad frente a modificaciones del layout	Capaz de adaptarse a cambios en el layout gracias a su navegación natural o SLAM.
Confianza en la tecnología	Proveedor de robots de distintas empresas. Según su página web tienen experiencia en el sector del automóvil y el sector logístico. En su cartera de productos solo ofrecen AIVs, por lo que es poco probable que se necesiten sus productos para proyectos futuros.

Tabla 23. Análisis del AIV MIR250 de MTS tech según criterios a considerar.
(Fuente:Elaboración propia)

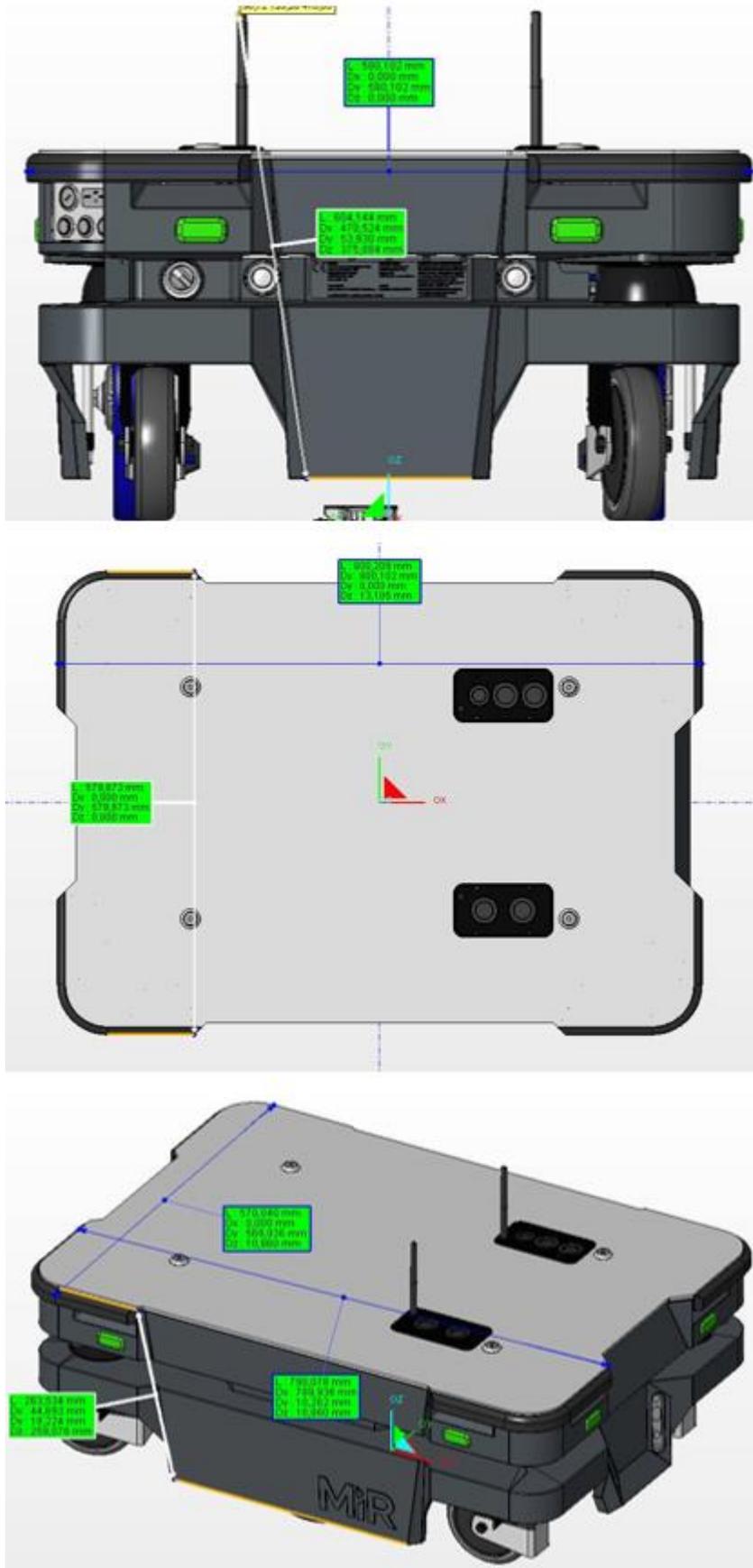


Ilustración 19. Vistas MIR250.
(Fuente: Proveedor MIR)

➤ **Wheel_me.**

Wheel_me es una start-up holandesa dedicada a la fabricación y distribución de ruedas autónomas. Su producto wheel.me Genius es la primera rueda autónoma del mundo.

Así es como Wheel_me se definen a ellos mismos y a su producto en su página web:

...Wheel.me comenzó en 2014. Queríamos reinventar la rueda, y creemos que lo hemos hecho. El sistema wheel.me Genius te permite mover todo lo que has usado para mover, solo que más fácil. Y muchas cosas que nunca has pensado en mover. Porque lo que realmente pusimos en marcha fueron las ideas. Ideas sobre paredes flexibles. Sobre las estructuras de los vestuarios. Acerca de la reubicación de equipo pesado con solo decirle a dónde ir.

El sistema comprende un componente de robot, tecnología de navegación interior y análisis de datos. La innovación transforma cualquier cosa en un robot móvil autónomo con un esfuerzo mínimo y sin la necesidad de cambiar el diseño o el factor de forma. La solución se puede operar por voz, la aplicación wheel.me o el back-end. La solución se ejecuta en la nube, en su red local o con 5G.

En este caso el producto es diferente a los definidos anteriormente, pero actúa de una forma similar. El producto es un set de cuatro ruedas inteligentes que se insertarían en cada uno de los carros. Estas 4 ruedas se comunican entre ellas y con el entorno, para realizar el movimiento del carro y llevarlo hasta donde se desee. A diferencia de los otros robots, se necesitaría un set de 4 ruedas por cada uno de los carros que se quieren mover, ya que, en definitiva, lo que se tendría en este caso son carros autónomos.



Ilustración 20. Ruedas inteligentes Wheel_me Genius.
(Fuente: <https://www.wheel.me/>)

A continuación, se realiza un análisis de este producto siguiendo los criterios considerados.

CRITERIO	CARACTERÍSTICAS
Coste de cada AGV	50 €/(mes*set). En 5 años el coste por set será de 3000€
Inversión total (5años)	El coste por mes sería de unos 2.600,00€ contando que se tengan 52 carros, por lo que, en 5 años, el coste será de 156.000,00€
Costes de mantenimiento	Los costes de mantenimiento están incluidos en el precio del producto por lo que se tomarán como el 5% de la inversión total. Esto supone un coste de mantenimiento en 5 años de 7.800,00€
Renting industrial	2.600,00€/mes durante 60 meses
Vida útil	5 años
Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Escáneres láser de seguridad SICK (frontal y trasero) Protección visual de 360° alrededor del robot ✓ Sensores de proximidad (8 uds)
Modificación de infraestructura	No se requiere modificación de infraestructura, solo sustituir las ruedas actuales de los carros por estas
Área	No ocupan espacio ya que están integradas en los carros
Radio de giro	0 mm, gracias al diseño de las ruedas el carro puede girar sobre sí mismo
Comunicación	Comunicación WiFi con el servidor, capaz de esquivar obstáculos
Autonomía	Duración de la batería de 3,5 horas
Velocidad máxima	1,5 m/s
Capacidad	400 kg
Precisión	±2 mm
Altura	150 mm aprox
Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	Capaz de adaptarse a cambios de producción.
Flexibilidad frente a modificaciones del layout	Capaz de adaptarse a cambios en el layout gracias a su navegación natural o SLAM.
Confianza en la tecnología	No se tienen referencias por lo que la confianza es menor que en los casos anteriores. Además, es poco probable que se necesiten sus productos para proyectos futuros

Tabla 24. Análisis del producto wheel.me Genius de Wheel_me según criterios a considerar.
(Fuente:Elaboración propia)

7.3. Comparación de las alternativas.

Una vez definidas todas las alternativas se pasa a realizar comparaciones entre ellas, siguiendo con el método AHP, para obtener el vector de prioridad de cada una de las alternativas consideradas y ver cuál será la mejor opción. Los cálculos se muestran detallados en el Anexo VIII y el resultado final se muestra en la siguiente tabla.

Criterios	Subcriterios	Omron (LD-250)	MTS tech (MIR250)	Wheel_me (Genius)
Criterios económicos	Coste de cada AGV	5,62%	5,42%	88,96%
	Inversión total (5 años)	38,86%	38,43%	22,72%
	Costes de mantenimiento	39,56%	22,39%	38,04%
	Renting industrial	50,64%	22,19%	27,17%
	Vida Útil	33,33%	33,33%	33,33%
Criterios técnicos	Seguridad	33,39%	56,79%	9,82%
	Modificación de infraestructura	11,79%	20,14%	68,06%
	Área	13,73%	23,95%	62,32%
	Radio de giro	33,33%	33,33%	33,33%
	Comunicación	42,86%	42,86%	14,29%
Criterios operacionales	Autonomía	41,27%	47,62%	11,11%
	Velocidad	25,53%	42,55%	31,91%
	Capacidad	27,78%	27,78%	44,44%
	Precisión	20,00%	40,00%	40,00%
	Altura	21,96%	21,96%	56,08%
Criterios estratégicos	Flexibilidad de la frecuencia de movimientos	33,33%	33,33%	33,33%
	Flexibilidad frente a modificaciones del layout	33,33%	33,33%	33,33%
	Confianza en la tecnología	63,33%	26,05%	10,62%

Tabla 25. Prioridades de cada proveedor en función de cada uno de los criterios considerados.
(Fuente: Elaboración propia)

7.4. Selección de la mejor alternativa.

Una vez obtenidas las prioridades de cada uno de los robots respecto a cada uno de los criterios, se puede pasar a la selección de la alternativa más favorable.

La prioridad final de cada una de las alternativas, se calcula mediante la suma de los productos de las prioridades globales obtenidas para cada criterio, mostradas en la [tabla 21](#), y las prioridades de cada alternativa mostradas en la [tabla 25](#).

ALTERNATIVA	Prioridad total
Omron (LD-250)	35,24%
MTS tech (MIR250)	34,07%
Wheel_me (Genius)	32,67%

Tabla 26. Prioridades totales de cada uno de las alternativas consideradas.
(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede ver, los porcentajes obtenidos son muy similares, obteniendo como mejor alternativa el robot de Omron, LD-250. Esto no quiere decir que necesariamente la elección final sea dicho robot, ya que la decisión final la toma el decisor, quien según su juicio y conocimientos elige la opción más apropiada.

En este caso la elección final es Omron, ya que, además de haber obtenido los mejores resultados, también está colaborando con CEFA y MRA en otros proyectos, por lo que se tiene una clara preferencia por dicha compañía.

7.5. Conclusión.

En este apartado, se ha conseguido, gracias a la aplicación del método AHP, elaborar comparaciones objetivas y subjetivas entre las tres alternativas que se barajaban, llegando finalmente a obtener un vector de prioridades que ha ayudado a tomar la decisión final.

El robot elegido finalmente es el LD-250 de Omron, compañía con la que se está colaborando en varios proyectos. En los siguientes apartados se describirá el nuevo método de suministro logístico utilizado, los cambios que se han tenido que realizar para poder implantar dicho robot en la fábrica, así como una simulación teórica, realizada gracias a la información que se tiene tanto del robot como de las frecuencias de movimientos, y finalmente se realizará el estudio de la viabilidad económica del proyecto.

8. Descripción del nuevo método de suministro logístico y cambios realizados.

8.1. Introducción.

Una vez elegido el robot que se va a utilizar para la automatización del suministro logístico se pasa a describir los cambios necesarios para su implantación en la fábrica. Estos cambios se ha buscado realizarlos de la manera más económica posible, con el fin de evitar costes adicionales, y están enfocados a solucionar el problema de la necesidad de cumplir el FIFO y la adaptación de los carros al robot seleccionado.

8.2. Cambios en el layout, almacenaje y recorridos.

Hasta ahora el modo de traslado de los carros ha sido manual, y en la zona de almacenamiento de carros ha habido más carros de los necesarios, ya que la empresa optó por tener un buffer¹¹ de seguridad de un día, para no tener problemas de suministro en caso de avería.

La existencia de tantos carros en el lugar de almacenaje hace que el operario encargado de trasladar los carros no sepa con seguridad qué carro ha llegado primero o que le sea imposible coger dicho carro debido a la forma en la que están almacenados, con lo cual el FIFO no se cumple. Para solucionar esto, en primer lugar, se pensó instalar una serie de cintas transportadoras de manera que en cada fila hubiese un tipo de carro, y el robot cogiese siempre el carro que ocupa el primer lugar de la fila. De esta manera, cuando la posición inicial quedase libre, la cinta transportadora movería los carros siguientes hacia delante, como se muestra en la [Ilustración 21](#). Sin embargo, esta solución implica unos costes adicionales demasiado altos. La solución que se pensó finalmente fue reducir el buffer de seguridad de carros a 8 horas, tiempo suficiente para solucionar una posible avería. De esta manera, se pudo hacer una reorganización de los carros dejando pasillos de suficiente anchura entre los distintos tipos de carro y así el robot se pudiese programar

¹¹ El buffer es el espacio de una planta de fabricación donde se almacenan los productos hasta que son necesarios.

para coger el carro correspondiente al sistema FIFO de distintas posiciones entrando por dichos pasillos. Esta reorganización de los carros se muestra en la [Ilustración 22](#).

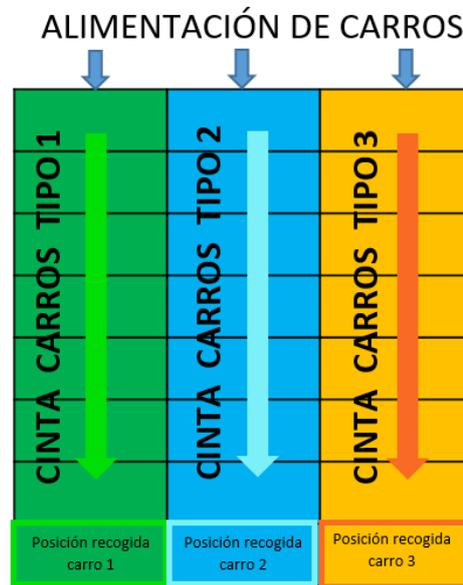


Ilustración 21. Solución FIFO pensada inicialmente.
(Fuente: Elaboración propia)

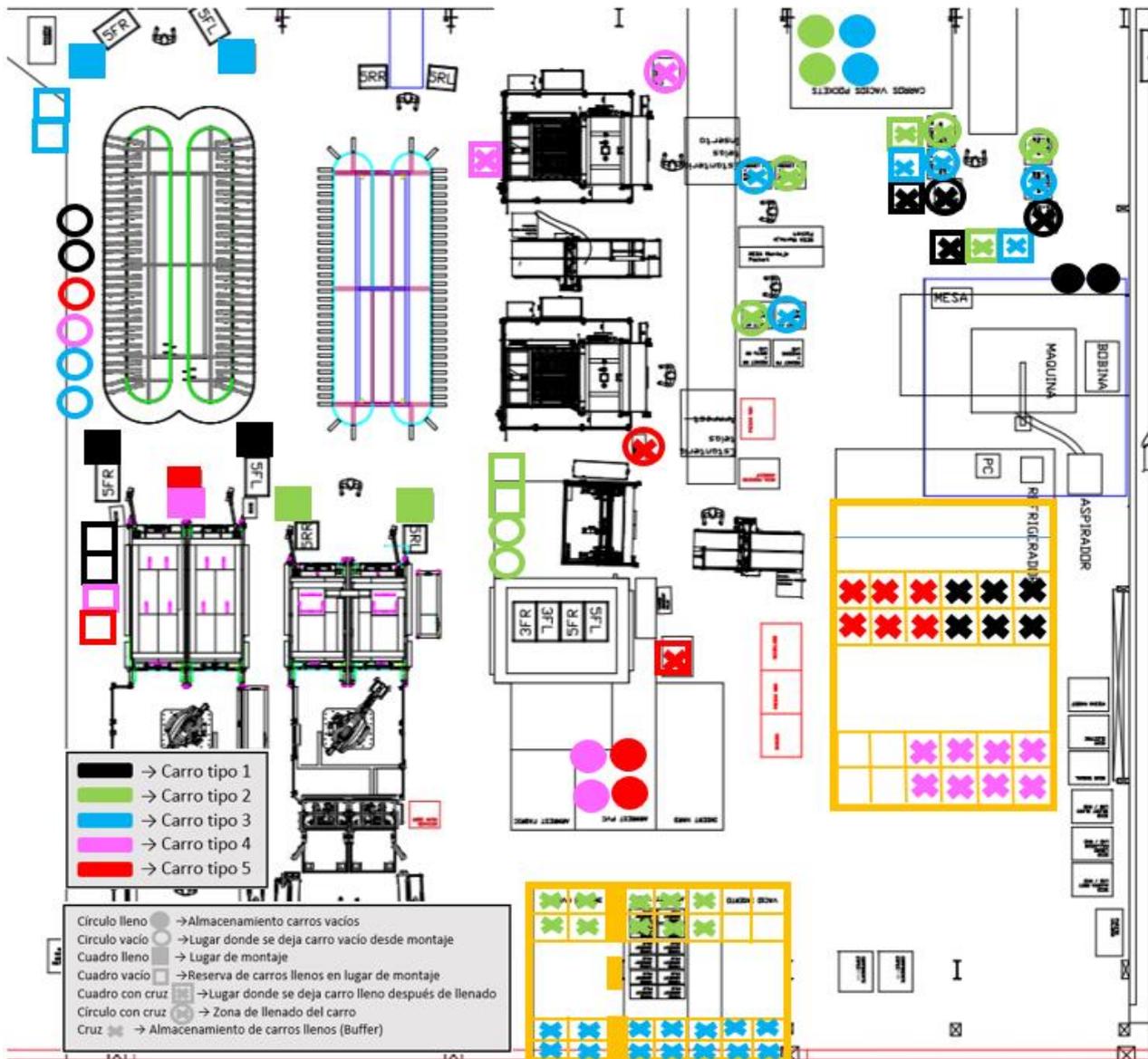


Ilustración 22. Reorganización de zonas de carros para solución FIFO final.
(Fuente: Elaboración propia)

En la [Ilustración 22](#), además de la reorganización del buffer de carros, se pueden ver los lugares donde se almacenan los carros vacíos antes de pasarlos al llenado de piezas y después del vaciado en la zona de montaje, los lugares donde se coloca cada uno de los carros en la zona de montaje, los lugares donde se colocan los carros de reserva que servirán para que siempre haya un carro en la zona de montaje y así no provocar parones en la línea, los lugares donde se llenan los carros a la salida de la inyectora y los lugares donde se dejan esos carros una vez llenados para que posteriormente el AIV los lleve hacia la zona de almacenamiento de buffer.

En el caso de los carros tipo 2 y 3 se puede ver que hay dos zonas de llenado de piezas. Esto es porque primero se llenan los bolsillos de dichos carros en la inyectora 9 y luego los pasan a la inyectora 8 donde llenan los brackets. Por otro lado, para los carros tipo 1, 2 y 3 se ve que se tienen dos formas de cada tipo, lo cual corresponde a que hay carros RHD y carros LHD.

En el Anexo IX se muestra una simulación de los movimientos que tendrían lugar durante un periodo de trabajo de 9 horas, teniendo en cuenta las frecuencias de la [tabla 7](#) y las posiciones de la [Ilustración 22](#).

Además, para cumplir el FIFO, es necesario programar el robot para que coja los carros del buffer cada vez de un sitio distinto y deje los nuevos carros que llegan a buffer en el sitio correcto. Esta programación se detalla en el Anexo X.

8.3. Modificación de los carros.

Uno de los problemas en la implantación del AIV es que los carros que se utilizan actualmente no son aptos para este, por lo que requieren una modificación.

Los carros actuales tipo 1,2,3 y 4 tienen una altura de 200 mm desde el punto más alto hasta su base, lo cual no es necesario modificar. Sin embargo, desde su base hasta el suelo tienen una altura de 17 mm, lo cual hace que el robot no sea capaz de meterse debajo ya que la altura del AIV es de 383 mm. Por lo tanto, las modificaciones realizadas en los carros van a estar enfocadas en aumentar la altura de la parte inferior del carro, permitiendo que se pueda meter debajo de ellos. Además, dicho AIV necesita que el carro tenga la parte delantera totalmente abierta para poder ver y guiarse, lo cual también habrá que tener en cuenta.

En la [Ilustración 23](#) se muestra el boceto de los carros actuales con sus correspondientes acotaciones y en la [Ilustración 24](#) su vista en isométrico.

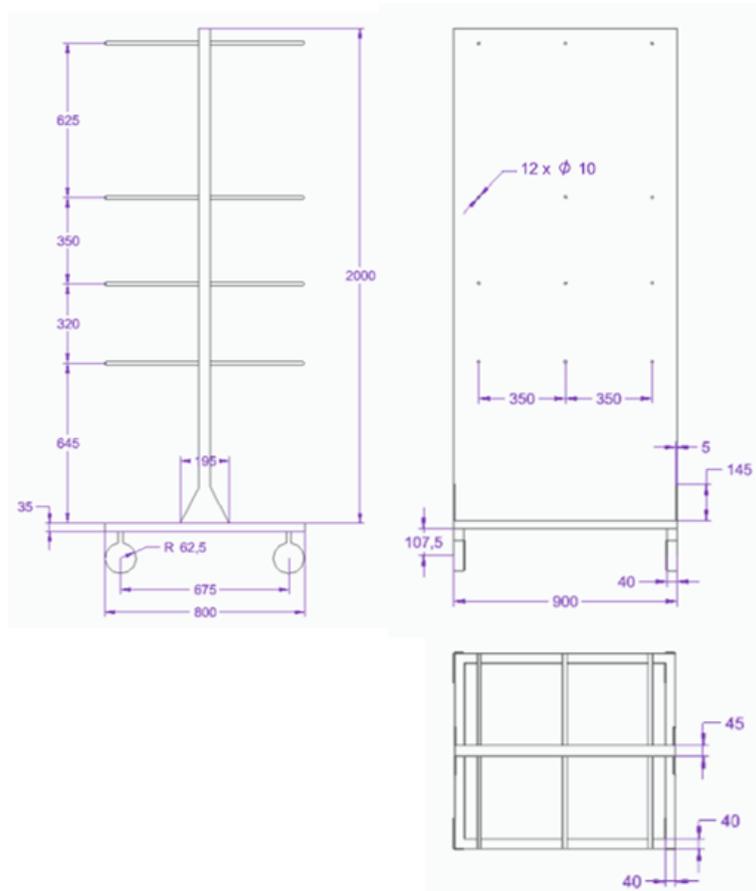


Ilustración 23. Boceto y acotaciones de los carros actuales tipo 1,2,3 y 4.
(Fuente: Elaboración propia)



*Ilustración 24. Vista en isométrico de los carros actuales tipo 1,2,3 y 4.
(Fuente: Elaboración propia)*

La colocación de las varillas que se muestra es la del carro tipo 2 que es igual para el carro tipo 3 pero diferente para los otros dos tipos. Sin embargo, ya que no es algo que haya que cambiar en los carros nuevos, no se hará especial hincapié en ello. Como ya se ha dicho, lo que va a cambiar es la parte inferior de los carros. Este cambio se muestra en las siguientes ilustraciones.

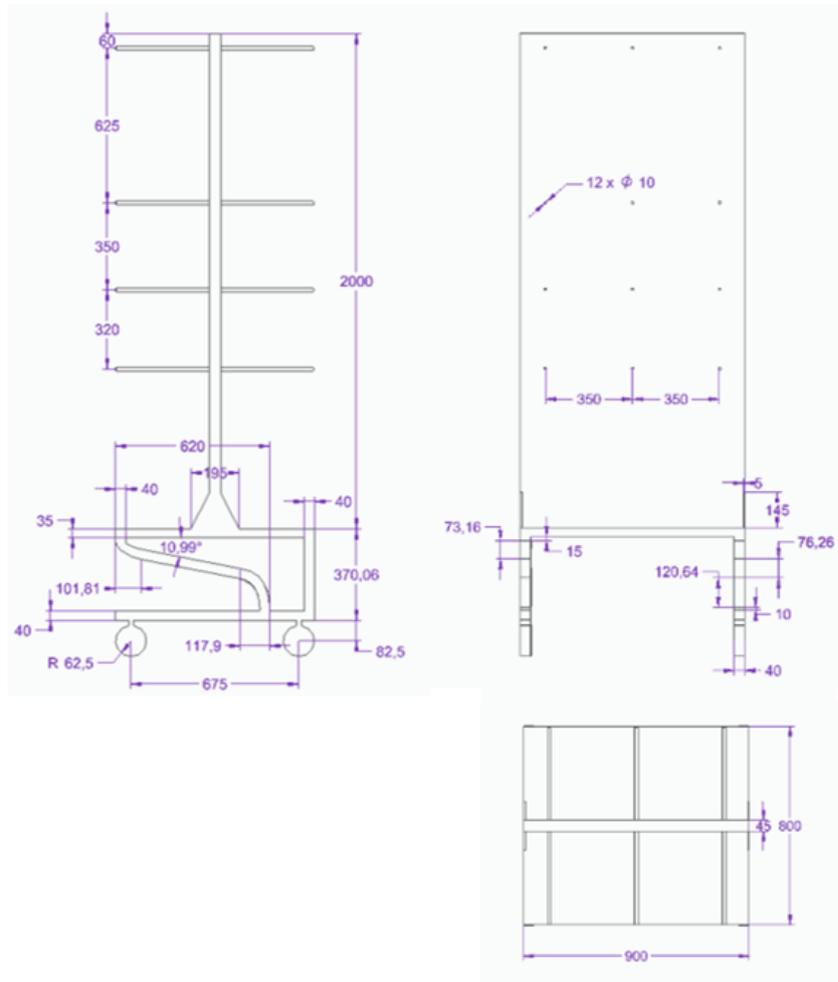


Ilustración 25. Boceto y acotaciones del carro modificado tipo 2.
(Fuente: Elaboración propia)

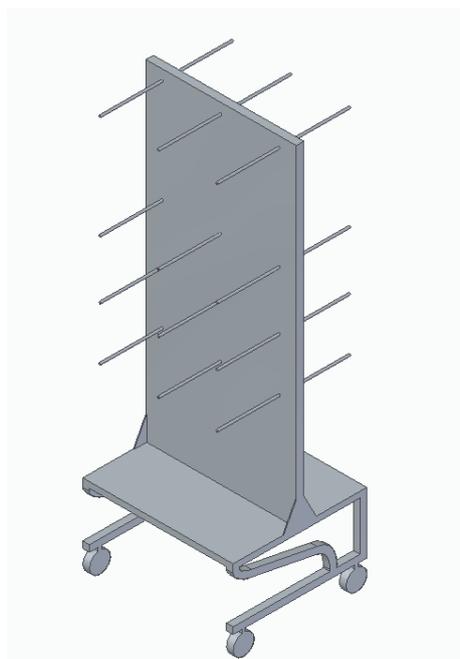


Ilustración 26. Vista en isométrico de los carros modificados tipo 1,2,3 y 4.
(Fuente: Elaboración propia)

El carro tipo 5, como ya se ha dicho, es diferente a los demás, sin embargo, la modificación que se le debe hacer es muy similar. En las siguientes imágenes se muestra el boceto junto con las acotaciones y la vista en isométrico tanto del carro actual como del nuevo carro con las correspondientes modificaciones.

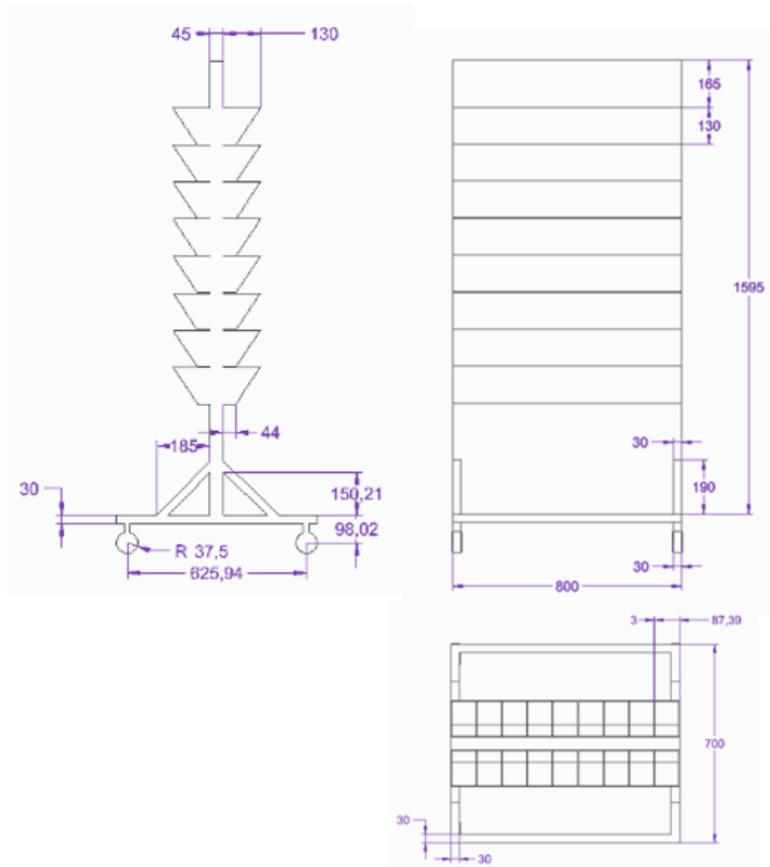


Ilustración 27. Boceto y acotaciones del carro actual tipo 5.
(Fuente: Elaboración propia)

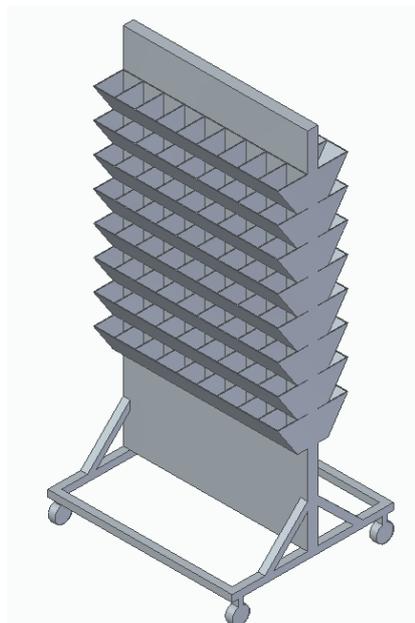


Ilustración 28. Vista en isométrico del carro actual tipo 5.
(Fuente: Elaboración propia)

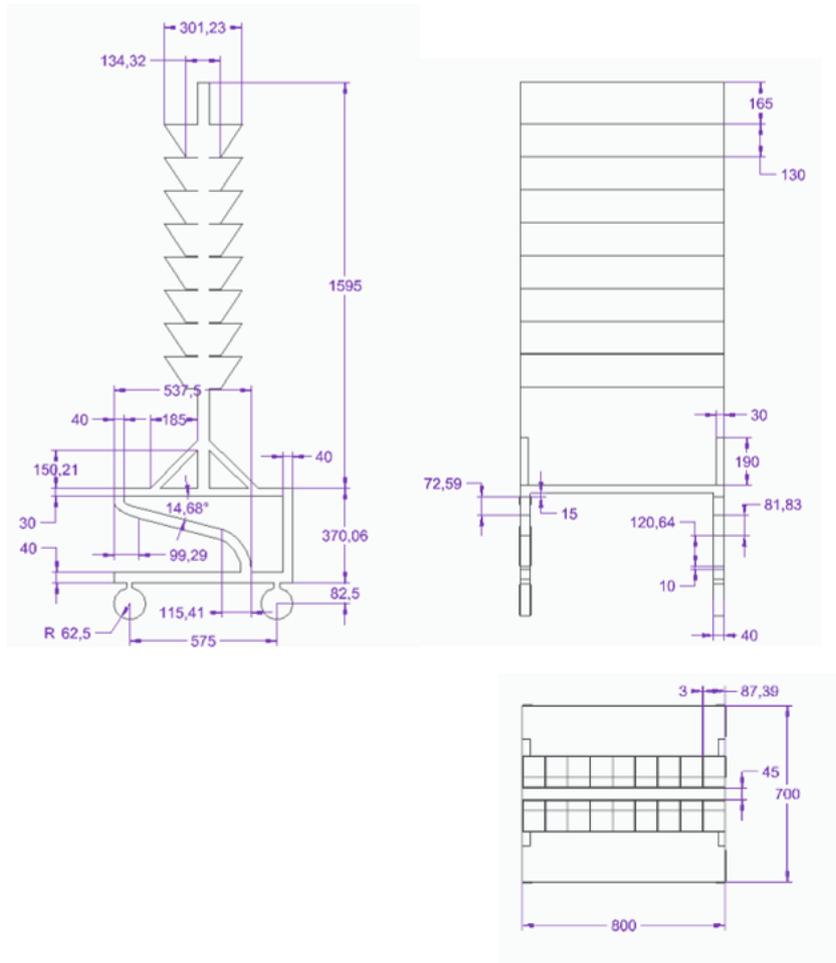


Ilustración 29. Boceto y acotaciones del carro modificado tipo 5.
(Fuente: Elaboración propia)

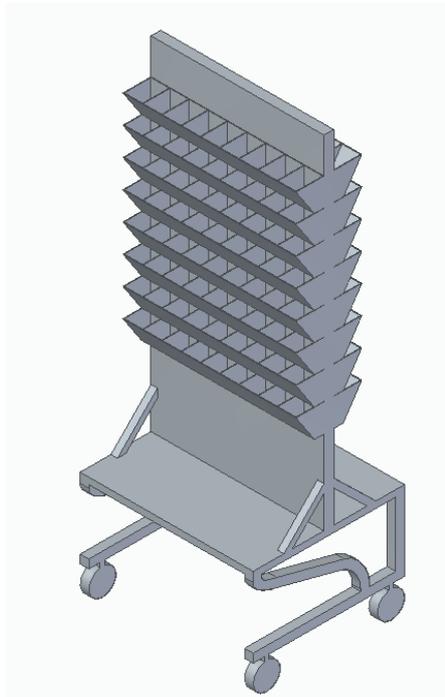


Ilustración 30. Vista en isométrico del carro modificado tipo 5.
(Fuente: Elaboración propia)

Estas modificaciones se han basado en el carro que comercializa Omron junto con su robot LD-250, mostrado en la [Ilustración 31](#).



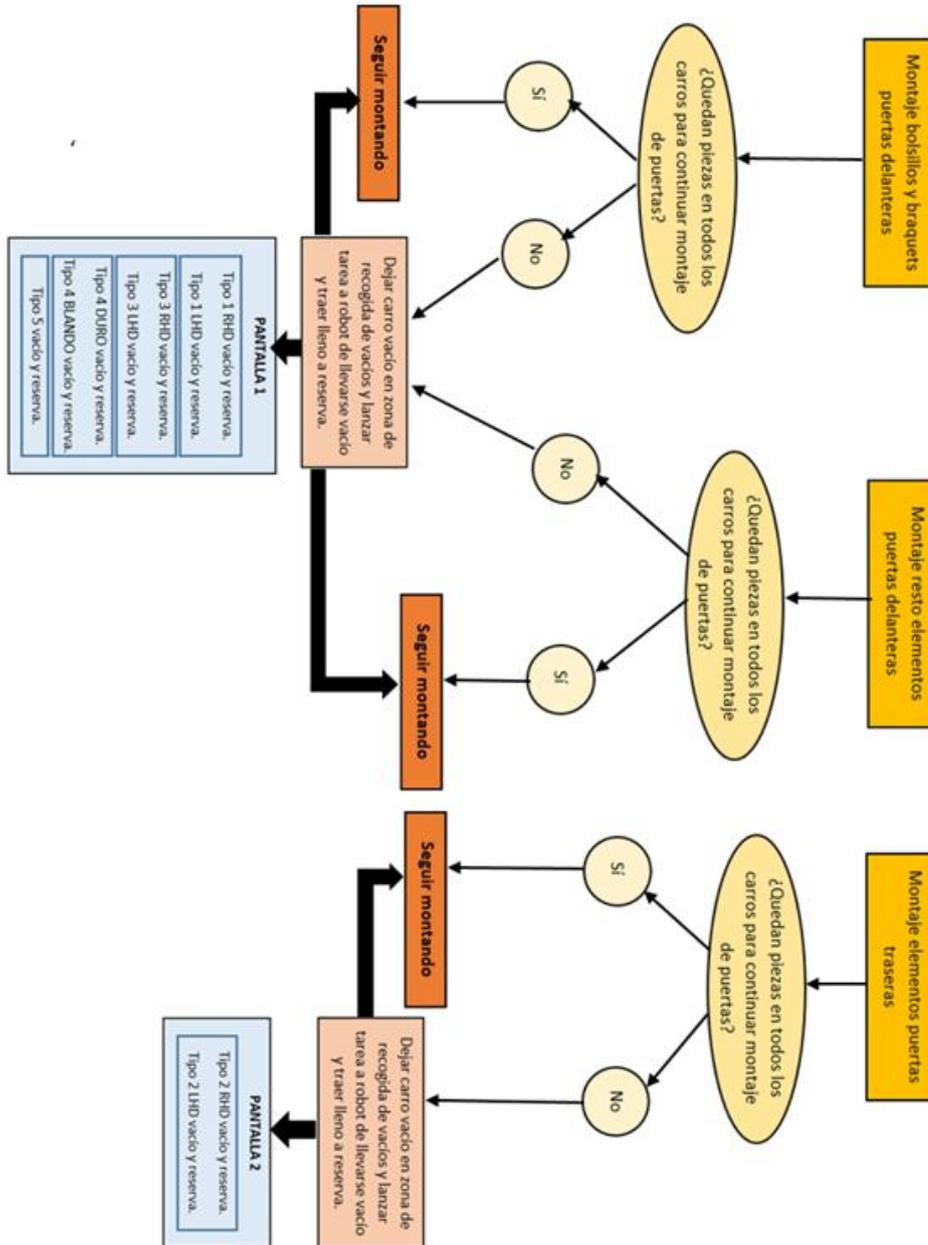
Ilustración 31. Carro comercializado por Omron.

(Fuente: https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v15/i828_ld-series_mobile_robot_datasheet_en.pdf)

8.4. Descripción del nuevo método de suministro logístico.

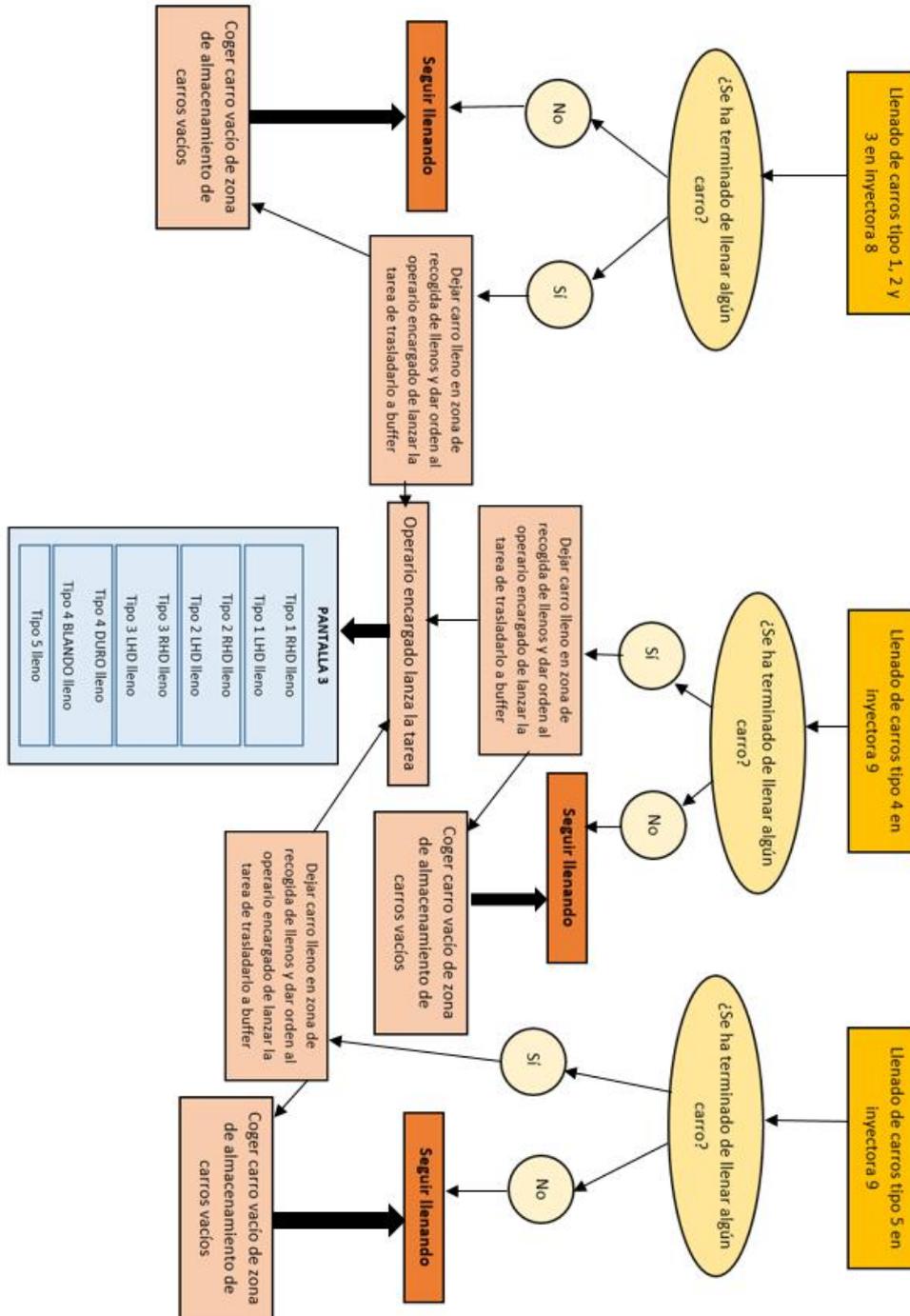
Una vez se ha visto cuáles son las modificaciones que se han tenido que hacer tanto en el layout como en los carros, se puede pasar a describir el nuevo método de suministro logístico, que pasa de ser manual a automático.

Para este nuevo método de suministro logístico se instalarán 3 pantallas donde se lanzarán al robot las distintas tareas de traslado que tiene que realizar. En 2 de estas pantallas se tendrán las tareas de traslado de carros vacíos desde montaje hacia zona de almacenamiento de vacíos, lo cual implicará también las tareas de traslado de carros llenos desde buffer hasta zona de reserva de carros en zonas de montaje. Una de estas pantallas estará colocada cerca de las zonas de montaje de puertas delanteras y la otra cerca de la zona de montaje de puertas traseras. En la otra pantalla se tendrán las tareas de traslado de carros llenos desde salida de inyectora hasta zona de almacenamiento de buffer. Ésta estará colocada cerca de las zonas de llenado de carros. Estas 3 ubicaciones de pantallas se pueden ver en la [Ilustración 32](#) y el por qué se explica más detallado en el Anexo XI.



Esquema 4. Acciones a realizar por los operarios encargados del montaje de puertas con el nuevo método de suministro logístico.

(Fuente: Elaboración propia)



Esquema 5. Acciones a realizar por los encargados del llenado de carros con el nuevo método de suministro logístico. (Fuente: Elaboración propia)

8.5. Otros problemas.

Como ya se ha explicado, este proyecto nace del deseo de la empresa MRA por realizar avances tecnológicos en sus instalaciones, que les permitan acercarse un poco más hacia la industria 4.0., aumentando la eficiencia de la planta y reduciendo costes de mantenimiento. Sin embargo, para que el proyecto salga adelante, es necesario que su

viabilidad económica sea positiva. Para ello, es imprescindible eliminar el puesto de trabajo del operario que hasta ahora se dedicaba a mover los carros manualmente.

El problema que surgió fue que dicho operario no solo se dedicaba a mover los carros, sino que también movía una serie de cajas a los puestos de montaje cuando éstas eran necesarias. Estas cajas salían de almacén encima de un AGV que las paseaba por la fábrica de manera que, si eran necesarias en alguno de los puestos de montaje, el operario encargado las cogía de encima del AGV y las llevaba hasta dicho puesto.

Son 4 tipos de cajas, una para cada uno de los puestos de montaje, y cada una de ellas tarda en gastarse aproximadamente 1 hora. En cada uno de los puestos se montan puertas RHD y puertas LHD, por lo que también es necesario tener cajas RHD y LHD. Es decir, en cada uno de los puestos habrá un total de dos cajas del mismo tipo vaciándose, dos de reserva RHD y dos de reserva LHD. Cada vez que se gaste una será necesario reponerla.

La solución que se le dio a este problema fue añadirle la tarea al robot de llevar dichas cajas a los puestos de montaje. Ya que como se puede ver en el Anexo VII, al robot le quedaba una disponibilidad del 44% por hora, y dicha tarea le llevaría como máximo 15 minutos.

Para ello, se fabricará un carro adecuado al AGV, con dos estantes. Uno de ellos donde quepan 4 cajas RHD y otro de ellos donde quepan 4 cajas LHD. Al principio de cada turno de 8 horas, el AGV que traslada dichas cajas se dirigirá hacia la zona marcada en naranja en el layout de la [Ilustración 33](#), donde se almacenarán un total de 8 cajas de cada tipo RHD y LHD. En esa zona siempre suele haber un operario, por lo que dicho operario será el encargado de colocar las cajas necesarias en el carro que se encontrará en la zona marcada en verde.

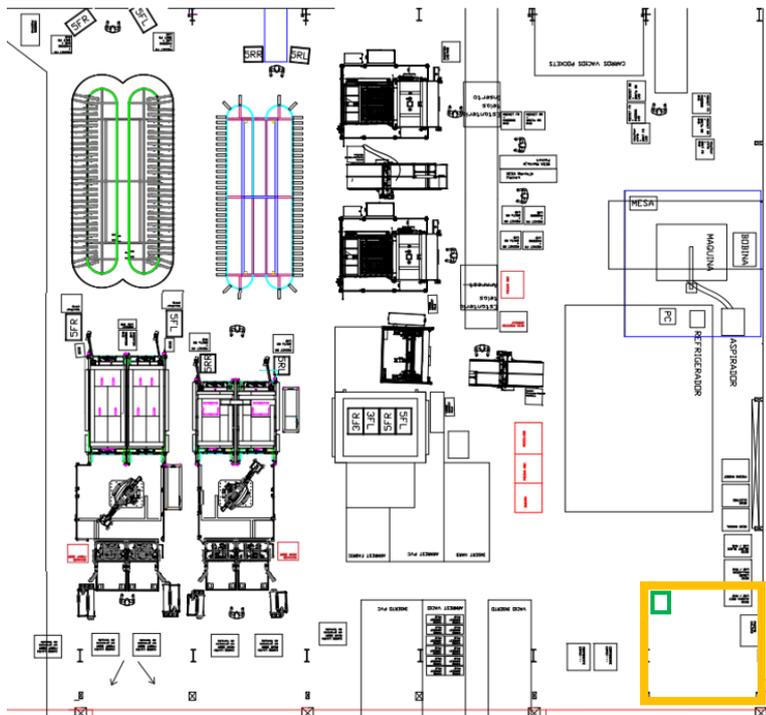


Ilustración 33. Zona de almacenaje de las cajas necesarias en los puestos de montaje.
(Fuente: Elaboración propia)

De esta manera, se colocará un nuevo aviso en cada una de las pantallas de avisos comentadas anteriormente, donde se podrá dar la tarea al robot de llevar caja a cada uno de los puestos. Cuando el robot reciba el aviso, irá a la zona verde de la [Ilustración 33](#), donde se encontrará el carro lleno de cajas y llevará dicho carro a los 4 puestos de montaje, emitiendo un mensaje de voz al operario que se encuentra en cada puesto de que coja la caja correspondiente. Una vez que el operario coja las cajas correspondientes a su puesto de montaje, pulsará un botón insertado en el carro y conectado con el AIV, para que el robot sepa que ya puede dirigirse al siguiente puesto. Una vez pase por los 4 puestos, volverá a la zona de la [Ilustración 33](#) y dejará el carro, que estará ahora lleno de las cajas que se han vaciado en los puestos de montaje, siendo el operario que se encuentra en dicha zona el encargado de tirar esas cajas vacías a la basura y colocar en el carro 8 nuevas cajas llenas.

En la siguiente ilustración se puede ver el boceto y acotaciones del carro diseñado para cumplir esta tarea y su vista en isométrico.

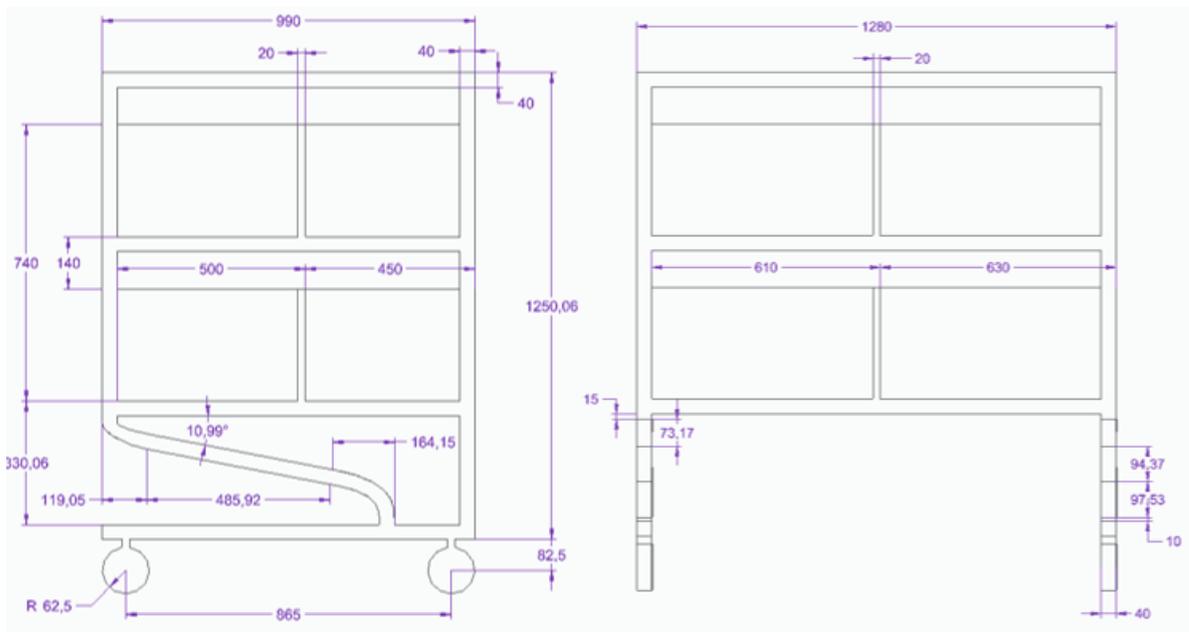
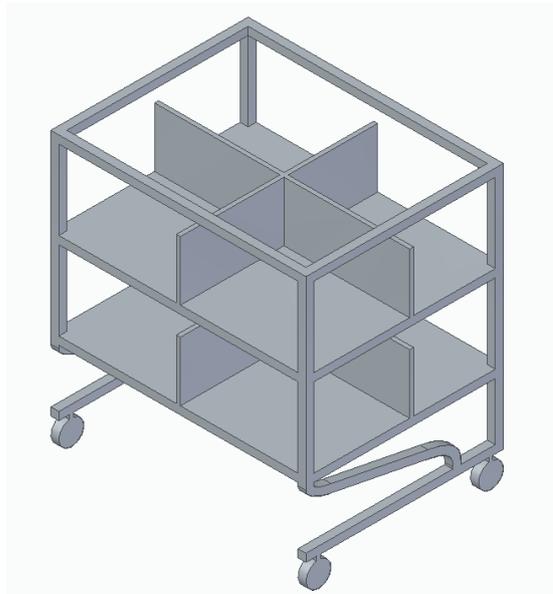


Ilustración 34. Boceto y acotaciones del carro de cajas.
(Fuente: Elaboración propia)



*Ilustración 35. Vista en isométrico del carro de cajas.
(Fuente: Elaboración propia)*

En la [Ilustración 35](#) se pueden ver los dos estantes en los que está dividido el carro. En el estante superior se colocarán las cajas RHD y en el inferior las cajas LHD. En los huecos traseros izquierdos se introducirán las cajas de clips, que tienen unas medidas de 305x395x285 mm, en los huecos traseros derechos se introducirán las cajas de corchos, que tienen unas medidas de 410x600x300 mm, en los huecos delanteros izquierdos las cajas de decos, con unas medidas de 480x565x220 mm y en los huecos delanteros derechos las cajas de espumitas, con unas medidas de 405x590x310 mm.

8.6. Conclusión.

En este apartado se han visto todos los cambios que hay que realizar en la fábrica para poder implantar el robot y así cumplir el objetivo de automatizar el suministro deseado. Como se ha visto, en el transcurso de un proyecto pueden surgir problemas que pueden tener solución o no. Por suerte, el problema surgido tuvo fácil solución y se pudo continuar con el proyecto.

A partir de aquí se pasa a la fase final del proyecto, el estudio de la viabilidad económica, cuyo resultado puede ser negativo o positivo en función del PRI (Periodo de Retorno de la Inversión).

9. Estudio de viabilidad económica e implantación en fábrica.

9.1. Introducción.

Finalizado todo el estudio técnico del proyecto, se pasa a estudiar su viabilidad económica, la cual es fundamental para que la implantación del robot siga adelante.

La empresa MRA solo acepta la implantación de proyectos cuyo retorno de la inversión sea como máximo de un año ya que los proyectos en el sector de automoción tienen una fecha de caducidad de unos 5 años y de lo contrario no saldría rentable. Por lo tanto, se estudiará cual es la inversión a realizar en el total de los 5 años y cuáles son los ahorros previstos para esos 5 años. De tal manera que se podrá calcular el PRI (Periodo de Retorno de la Inversión), siendo positivo si resulta ser menor de 1 año y negativo si resulta ser mayor de 1 año.

9.2. Presupuesto de implantación del AIV.

Cada una de las empresas consideradas en la elección del robot hizo una oferta de compra e implantación de sus AIVs. Finalmente, tras una negociación con cada una de ellas, la empresa seleccionada fue Omron, por causas tanto técnicas como económicas. En la siguiente tabla se ven los costes finales de cada uno de los servicios prestados por Omron, que comprenden desde la venta del robot hasta su implantación en la fábrica. También se muestra el coste de modificación de los carros actuales y fabricación del nuevo carro de cajas de lo cual se encarga la empresa dedicada al desarrollo de utillajes, calderería e instalaciones industriales llamada Proinval.

Servicio/Producto	Descripción	Coste
Robot LD250+cargador+baterías+CAPS	Compra del AIV el cual incluye cargador, baterías y CAPS	41.000,00 €
Top LD250	Compra de la plataforma adicional del AIV cuya función es anclar el AIV a los carros.	6.000,00 €
Soporte técnico de Omron	Disponibilidad del soporte técnico de Omron en caso de tener algún problema con el AIV.	1.500,00 €
Instalación eléctrica	Instalación eléctrica necesaria para pantallas y botoneras, incluyendo el coste de estas.	5.000,00 €
Evaluación de riesgos	Servicio de evaluación de riesgos de la instalación.	3.000,00 €
Simulación	Simulación de los robots en la fábrica para garantizar su buen funcionamiento.	3.000,00 €
Instalación del AIV en fábrica	Implantación de los robots una vez aceptada su compra.	6.000,00 €
Entrenamiento del AIV	Mapeado del lugar donde va a trabajar el robot paseándolo por la fábrica y posteriores modificaciones como son la incorporación de zonas prohibidas en el mapa.	1.000,00 €
Administración del proyecto	Costes administrativos del total del proyecto	3.000,00 €
Coste total Omron		69.500,00 €
Carros	Modificación de un total de 66 carros y fabricación del carro de cajas.	10.000,00 €

Tabla 27. Presupuesto de implantación del AIV.
(Fuente: Elaboración propia)

Como ya se ha comentado anteriormente, Omron ofrece la posibilidad de un solo pago de los 69.500,00 € o bien un servicio de renting durante 60 meses, pagando 1.200,00 €/mes, con un coste adicional del servicio de mantenimiento de 1.500,00 €/año. La opción elegida es la segunda, con lo cual, la inversión total en 5 años asciende a 79.500,00 € más los 10.000,00€ de los carros, que hacen un total de **89.500,00 €**.

9.3. Costes ahorrados.

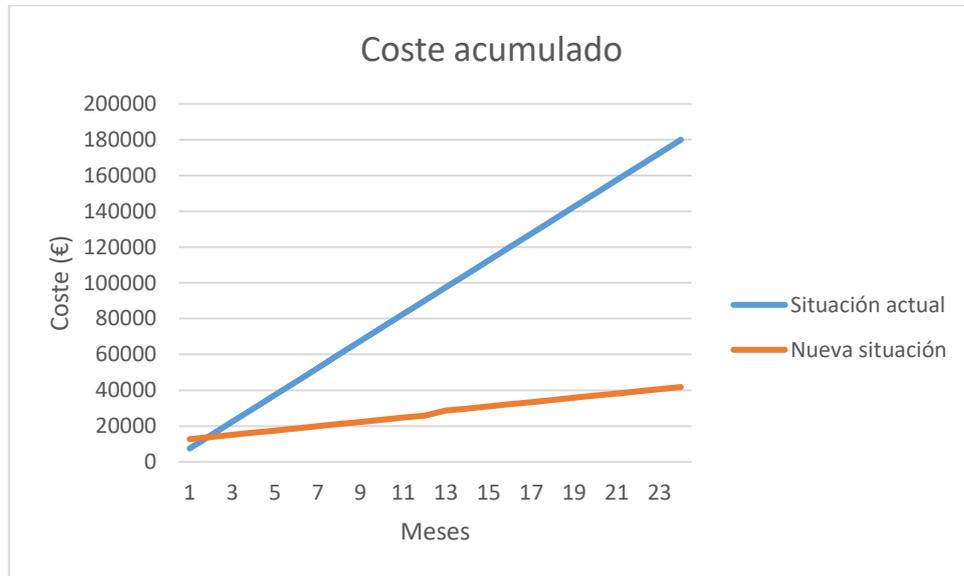
Con la implantación del AIV se conseguirá eliminar los costes asociados a la manutención de los operarios que hasta ahora se dedicaban a mover los carros y cajas correspondientes. Por lo tanto, teniendo tres turnos de trabajo, se eliminan los costes de manutención de 3 empleados. Teniendo en cuenta que el coste de manutención de un operario es de 30.000,00 €/año, el coste ahorrado en un año asciende a 90.000,00€, y, por tanto, en cinco años será de **450.000,00 €**.

9.4. Rentabilidad del proyecto.

Una vez calculados los costes que supone el seguir adelante con el proyecto, y los costes que se ahorraría la empresa con ello, se puede determinar su rentabilidad mediante el

cálculo del PRI (Periodo de Retorno de la Inversión), que, como ya se ha comentado, para que sea positivo, debe ser menor a un año.

En la siguiente gráfica se muestra el coste acumulado de la situación actual, que serían los costes ahorrados y el coste acumulado de la nueva situación durante los 60 meses.



Gráfica 1. Coste acumulado de la situación actual con respecto a la nueva situación.
(Fuente: Elaboración propia)

En la gráfica se puede ver el ahorro de costes que se tiene mes a mes en una situación con respecto a la otra, que en el total de los 60 meses es de **360.500,00 €**, lo cual corresponde al beneficio obtenido durante los 5 años de vida útil del robot. Si ahora se traza una línea horizontal de valor la inversión total junto con la recta del coste acumulado de la situación actual, se podrá ver cuál es el Periodo de Retorno de la Inversión.



Gráfica 2. Coste acumulado de la situación actual con respecto al valor de la Inversión total.
(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede ver, el Periodo de Retorno está muy cerca de los 11 meses. En la siguiente tabla se encuentran los costes acumulados de la situación actual en el periodo de 1 año. Con los datos del mes 11 y el mes 12 y el dato de la inversión total, se podrá realizar una interpolación lineal para saber el Periodo de Retorno exacto.

Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mensual	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500
Acumulado	7500	15000	22500	30000	37500	45000	52500	60000	67500	75000	82500	90000

Tabla 28. Costes mensuales y acumulados de la situación actual.
(Fuente: Elaboración propia)

$$PRI = \frac{12 - 11}{90000 - 82500} \times (89500 - 82500) + 11 = \mathbf{11,94 \text{ meses}}$$

El resultado obtenido es positivo ya que el Periodo de Retorno de la Inversión es muy cercano pero menor a 1 año, lo cual es el límite que se tenía para la aceptación del proyecto. Sin embargo, al ser tan cercano al año, se trata de una inversión de riesgo, por lo que la aceptación de la oferta y continuación con el proyecto llevará más tiempo del esperado. Se puede estimar que el AIV se podrá ver en funcionamiento en la fábrica a finales de este año.

9.5. Plan de implantación del AIV.

La implantación del AIV en la fábrica no es inmediata, si no que lleva un tiempo y tiene varias fases desde la aceptación de la oferta, hasta la puesta en marcha del robot en la fábrica. Como ya se ha comentado en el apartado anterior, la aceptación de la oferta y comienzo del plan de implantación llevará más tiempo del esperado y será fuera del periodo de prácticas, sin embargo, en la siguiente tabla se detallan las tareas a llevar a cabo, junto con el responsable de cada una de las tareas y el tiempo estimado para cada una de ellas en dicho plan de implantación.

TAREA	RESPONSABLE	DURACIÓN
Orden de compra - Reunión con el equipo directivo. - Aceptación de la oferta y comunicación al proveedor.	MRA	2 días 1 día 1 día
Fabricación de los Robots	Omron	1 mes
Realizar modificaciones necesarias. - Modificaciones del layout (almacenaje y puntos de entrega) - Modificación de carros y fabricación del carro de cajas.	MRA Proinval	1 mes 1 mes 1 mes
Obra civil - Instalación eléctrica necesaria. - Instalación de pantallas y botoneras. - Instalación de la estación de carga.	Omron	7 días 5 días 1 día 1 día

Programación - Programación de pantallas y botoneras. - Programación de comunicaciones.	Omron	2 semanas 1 semana 1 semana
Mapeado - Mapeado de la zona con el robot para crear mapa 2D. - Adición de zonas prohibidas, puntos de entrega y recogida.	Omron	2 días 1 día 1 día
Validación del sistema. - Simulación de los robots en la fábrica. - Testeo de navegación y maniobras - Pruebas en fábrica.	Omron	3 días 1 día 1 día 1 día
Formación de empleados	MRA	2 días
Puesta en marcha	MRA	1 semana

Tabla 29. Plan de implantación del AIV en fábrica.
(Fuente: Elaboración propia)

9.6. Conclusión.

Tras comprobar la viabilidad técnica del proyecto, en este apartado se ha comprobado su viabilidad económica, que ha resultado ser positiva, pero de riesgo, al ser el Periodo de Retorno de la Inversión cercano a un año.

Al tratarse de una inversión de riego, el plan de implantación comentado se iniciará más adelante, fuera del periodo de prácticas. Sin embargo, gracias a una propuesta de continuidad en la empresa durante los años de realización del Máster de Ingeniería Industrial y durante años posteriores, se podrá dar continuidad al proyecto y seguramente tenga la oportunidad de ver este proyecto en funcionamiento.

10. Conclusiones del Trabajo Fin de Grado.

10.1. Introducción.

Para finalizar, en este apartado se recoge el resumen de todas las acciones realizadas en el transcurso del proyecto durante los 6 meses de prácticas en la empresa Módulos Ribera Alta, así como las conclusiones obtenidas.

Se trata de un proyecto cuyo objetivo era el estudio de la viabilidad técnica y económica de la automatización del suministro logístico de una serie de productos en una de las naves de la fábrica. Así pues, se ha elaborado una propuesta para resolver este problema de automatización, cuyos resultados han sido positivos, lo cual resulta en grandes beneficios para la empresa.

A continuación, se detallan todas las conclusiones obtenidas en cada una de las fases del proyecto.

10.2. Conclusiones generales.

La primera fase del proyecto fue la comprensión del problema desde el punto de partida. En la actualidad, algunos de los movimientos de productos dentro de la fábrica seguían haciéndose manualmente, teniendo operarios dedicados exclusivamente a ello en algunos casos, lo cual suponía unos gastos de manutención asociados a procesos que

no aportan ningún valor añadido al producto. Por ello, nació el deseo de buscar la forma de automatizar dichos movimientos mediante vehículos autónomos.

Una vez conocido el problema, la segunda fase consistió en la familiarización con el entorno de trabajo, llegando a conocer todas las zonas de la fábrica, qué productos se fabricaban o montaban en cada una de ellas, los procesos completos que se seguían en la fabricación de cada uno de ellos, así como todos los movimientos de productos que había en la fábrica, automatizados o no. Llegando así a conocer cuál era la logística interna que hasta el momento se seguía y conociendo cuáles eran los movimientos que todavía no se habían automatizado, para posteriormente estudiar una posible automatización de los mismos.

La tercera fase, tras conocer los movimientos todavía no automatizados, fue un primer estudio a grandes rasgos de la viabilidad técnica y económica de automatizar cada uno de ellos, reduciéndose las posibilidades finalmente al traslado de una serie de carros llenos de productos de las puertas del vehículo Opel Corsa P2JO, a la salida de las inyectoras 8 y 9 hacia sus correspondientes zonas de almacenamiento y montaje, y el retorno de los carros vacíos hacia su zona de almacenamiento. Se estudió cuál era la organización de dichos carros y cuáles eran los recorridos y frecuencias que se seguían hasta el momento.

Posteriormente, en la fase 4, tras conocer las características de la carga a trasladar, así como sus recorridos y frecuencias, se realizó un estudio del entorno tecnológico existente en la actualidad. Así pues, se realizó una valoración de cada uno de los tipos de robots existentes, llegando a la conclusión de que la mejor opción eran aquellos que se movían con navegación natural, método de guiado que tienen los vehículos autónomos conocidos como AIVs (Autonomous Intelligent Vehicles). Además, también se realizó un estudio de las ventajas y desventajas que suponía la automatización mediante vehículos autónomos, y de la normativa vigente para ello.

Teniendo claro cuál era el tipo de vehículo que interesaba implantar, se pasó a la fase 5, la búsqueda de proveedores que ofrecieran dicho tipo de vehículos y el estudio de los criterios más importantes a considerar para la selección del robot más adecuado. Utilizando el método de selección multicriterio AHP se determinó el porcentaje de importancia de unos de los criterios seleccionados sobre otros. Por otro lado, se contactó con tres proveedores, Wheel_me, Omron y MTS tech, ofreciendo cada uno de ellos su producto más adecuado para el proyecto y realizando una oferta por su compra. Finalmente, se analizó cada uno de los productos en cuanto a los criterios considerados para la selección, y mediante el mismo método de decisión utilizado anteriormente se obtuvo cuál era la mejor opción, resultando ser el AIV LD-250 de Omron y siendo suficiente la compra de uno de ellos.

Una vez elegido el robot más adecuado a las características del proyecto, la fase 6 consistió en el estudio y descripción de todas las modificaciones que había que realizar para que la implantación del AIV en la fábrica fuese posible. Desde la modificación de los carros adaptándolos a las características del AIV, hasta la modificación del modo de almacenamiento de los carros y reducción de la cantidad de carros, dejando pasillos entre ellos para que con una simple programación adicional del robot se pudiera cumplir el FIFO (First In, First Out). De esta manera se pudo trazar un nuevo método de suministro logístico, fijando puntos de entrega y recogida de carros y colocando una

serie de pantallas donde los operarios correspondientes le darían las tareas al AIV. Además, en esta fase surgió un problema que no se había considerado inicialmente, y es que, el operario encargado del movimiento de los carros, también se encargaba del movimiento de una serie de cajas a los puestos de montaje. Afortunadamente, dicho problema se pudo solucionar fácilmente, añadiéndole una nueva tarea al robot y fabricando un carro adecuado para el movimiento de las cajas.

Por último, tras todo el estudio de la viabilidad técnica del proyecto, la fase 7 fue el estudio de la viabilidad económica de este, resultando positiva, pero de riesgo, al ser el Periodo de Retorno de la Inversión muy cercano a 1 año. Este resultado implica la aceptación de compra del robot y el comienzo del plan de implantación, el cual, al ser inversión de riesgo, se alargará en el tiempo.

Comentar también la existencia de la fase de redacción del TFG, que ha tenido lugar durante todo el periodo descrito.

Así pues, se han conseguido alcanzar los objetivos de este proyecto. Tanto la automatización de algunos de los movimientos de productos en las naves de MRA como la aplicación y adquisición de conocimientos en proyectos relacionados con la automatización de procesos.

10.3. Posibles proyectos futuros.

El resultado de este proyecto ha sido la automatización de algunos de los movimientos de productos que se realizaban manualmente. Sin embargo, en su desarrollo se vieron otros movimientos que también se realizaban manualmente, todos ellos se ven en la [tabla 1](#).

Algunos de los movimientos, como son el traslado de carros de salpicaderos tanto del Opel como del Seat, sería posible automatizarlos de la misma forma que se ha hecho con el traslado de carros de elementos de puertas. Sin embargo, habría que estudiar con más profundidad si dicha automatización es viable desde el punto de vista económico, ya que, los operarios que se encargan de dicha tarea, realizan otras tareas que no se pueden automatizar, por lo que es probable que no se tuviera ningún ahorro. No obstante, con el paso del tiempo podría haber una reorganización de tareas y que dicha automatización pasase a ser viable.

Además, se ha visto que una de las posibilidades para automatizar el traslado de carros era la compra de ruedas inteligentes en vez de un solo AIV. En la actualidad, Wheel_me es el único proveedor que proporciona este tipo de producto y dado el gran número de carros que se tienen y el precio del producto, esta opción no resulta viable en este momento. Sin embargo, tener carros autónomos sería un avance muy positivo para la empresa, por lo que, en unos años, cuando haya más proveedores con productos similares o el precio del producto disminuya, este podría ser un proyecto interesante a llevar a cabo. Incluso otra opción podría ser la colaboración con el departamento de robótica de la Universidad de Zaragoza en la creación de un producto similar.

Otro de los movimientos manuales que se llevan a cabo en la actualidad es la colocación de productos en carros, lo cual se podría automatizar mediante cobots. De hecho, ya se está estudiando la posibilidad de realizar dicha automatización en las inyectoras 10 y 11,

eliminando los carruseles que hay en la actualidad para el traslado de las estructuras de las puertas y colocando en su lugar unos carros donde introdujera el cobot las estructuras, y llevando posteriormente ese carro un AGV hacia el puesto de montaje.

Por último, otro posible proyecto futuro sería llevar esta automatización de movimientos a la fábrica CEFA, que en la actualidad tiene un nivel de automatización menor a MRA. Para ello se tendría que realizar un estudio similar al de este proyecto, comprobando cuáles son los movimientos que se podrían automatizar y la forma en la que se llevaría a cabo esa automatización.

11. Bibliografía.

- [1] <https://www.heflo.com/es/blog/gestion-de-empresas/indicadores-productividad/>
- [2] <https://www.cefa.es/>
- [3] <https://www.interempresas.net/Logistica/Articulos/38400-AGV-los-vehiculos-industriales-inteligentes.html>
- [4] <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robot-agv-aiv-los-vehiculos-de-guiado-automatico-inteligentes/>
- [5] <https://www.inser-robotica.com/las-7-ventajas-de-los-sistemas-agv-para-transporte-en-tu-empresa/>
- [6] <http://guide.directindustry.com/es/que-agv-elegir/>
- [7] <https://innovacion-tecnologia.com/robotica/agv-aiv-vehiculo-de-guiado-automatico-inteligente/>
- [8] <https://www.ma2014.es/productos/>
- [9] https://es.gaz.wiki/wiki/Automated_guided_vehicle
- [10] https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2019/normativa-robots-colaborativos-cobots-su-influencia-en-prevencion-riesgos-laborales#_ENREF_2
- [11] https://www.femeval.es/dam/jcr:1e5ed01a-a0af-48ea-b92a-c62c3e68230c/GUIA_AGV.pdf
- [12] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5618/fichero/ProyectoFinal2.pdf>
- [13] <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/saaty/>
- [14] <https://es.wikipedia.org/wiki/Omron>
- [15] https://industrial.omron.es/es/misc/dm/autonomous-mobile-robots?utm_source=homepage&utm_medium=billboard&utm_campaign=SEA_mobile-robots_EMEA
- [16] <https://www.linkedin.com/company/mobile-industrial-robots-aps>
- [17] <https://www.mtstech.eu/nosotros/>
- [18] <https://www.dematic.com/es-es/productos/informacion-general-de-productos/sistemas-agv/agv-remolcadores/>
- [19] <https://blog.gieicom.com/por-que-es-tan-util-un-agv-vehiculo-de-guiado-automatico-en-las-lineas-de-ensamble>
- [20] <https://www.ionos.es/startupguide/productividad/proceso-de-mejora-continua/#:~:text=La%20mejora%20continua%20es%20un,los%20servicios%20a%20largo%20plazo.&text=Procesos%3A%20los%20flujos%20de%20trabajo,eficientes%2C%20lo%20que%20ahorra%20costes.>
- [21] <https://www.ractem.es/blog/metodo-fifo-lifo-almacen>

[22]<https://es.wikipedia.org/wiki/Fluencia#:~:text=La%20fluencia%20o%20cedencia%20es%20el%20control%20del%20stock>.

[23]<https://www.mecalux.es/blog/logistica-interna-que-es#:~:text=La%20log%C3%ADstica%20interna%20es%20por%20almac%C3%A9n%20el%20control%20del%20stock>.