

Trabajo Fin de Grado

Diseño de plan de implementación de método
de transporte autónomo en almacén logístico

Plan Design for Implementation Autonomous
Transportation Method in Logistics Warehouse

Autor

Marta Martínez Pérez

Director

Enrique Hernández Hernández

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia

Noviembre 2024

Página intencionadamente en blanco.



**Escuela Universitaria
Politécnica** - La Almunia
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)

MEMORIA

Diseño de plan de implementación de método
de transporte autónomo en almacén logístico

Plan Design for Implementation Autonomous
Transportation Method in Logistics Warehouse

425.24.73

Autor: Marta Martínez Pérez

Director: Enrique Hernández Hernández

Fecha: 11 2024

Página intencionadamente en blanco.

INDICE DE CONTENIDO BREVE

1. RESUMEN	6
2. ABSTRACT	7
3. OBJETIVO	8
4. INTRODUCCIÓN	9
5. DESARROLLO	33
6. RESULTADOS	46
7. CONCLUSIONES	49
8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	51
9. BIBLIOGRAFÍA	53

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	6
1.1. PALABRAS CLAVE	6
2. ABSTRACT	7
2.1. KEY WORDS	7
3. OBJETIVO	8
4. INTRODUCCIÓN	9
4.1. MOTIVACIÓN	10
4.2. MÉTODO DE TRABAJO	10
4.3. MARCO TEÓRICO	11
4.3.1. <i>Sistemas de almacenaje</i>	11
4.3.1.1. Sistemas de almacenamiento	12
4.3.1.2. Tipos de estanterías	12
4.3.1.3. Vehículos de manipulación de un almacén	15
4.3.1.4. Tipos de palets o contenedores de mercancía	18
4.3.2. <i>Características principales de AGVs</i>	19
4.3.3. <i>Tipos de AGVs y Tecnologías</i>	20
4.3.4. <i>Antecedentes y comparativa de AGVs.</i>	21
4.3.4.1. Mobile Industrial Robots (MiR)	21
4.3.4.2. Fetch Robotics	23
4.3.4.3. 6 River Systems	25
4.3.4.4. KION STILL	26
4.3.4.5. BALYO	27
4.3.4.6. TOYOTA	28
4.3.4.7. Jungheinrich	29
4.3.4.8. Seegrid	30
4.3.5. <i>Características técnicas de los AGVs a tener en cuenta</i>	32
5. DESARROLLO	33
5.1. DIAGRAMAS	34
5.2. PLANTA DE ALMACÉN	35
5.3. PROPUESTA DE PLAN DE IMPLEMENTACIÓN	37
5.3.1. <i>Diagrama de Gantt de la implantación</i>	44



Diseño de plan de implementación de método de transporte autónomo en almacén logístico

425.24.73

6. RESULTADOS	46
6.1. RESULTADOS IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA	46
6.2. MÉTRICAS DE SEGUIMIENTO (KPIs)	46
6.3. RETORNO DE LA INVERSIÓN	47
7. CONCLUSIONES	49
8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	51
9. BIBLIOGRAFÍA	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del TFG.	9
Figura 2. Estanterías selectivas.	13
Figura 3. Estanterías Compactas.....	13
Figura 4. Estanterías Dinámicas.....	14
Figura 5. Estanterías Push-back.....	14
Figura 6. Carretillas Elevadoras.	15
Figura 7. Transpaletas.....	15
Figura 8. Apiladores.	16
Figura 9. Carretillas Retráctiles.....	16
Figura 10. Vehículos autónomos (AGV, AMR). Modelo MiR250 de Mobile Industrial Robots.	17
Figura 11. Transelevadores.	17
Figura 12. Comparación de palets americano vs. europeo.	19
Figura 13. Robot MiR 1350 de Mobile Industrial Robots	22
Figura 14. Robot MiR 1350 de Mobile Industrial Robots	23
Figura 15. Robot Freight 500 de Fetch Robotics.	24
Figura 16. Robot Freight 1500 de Fetch Robotics.	24
Figura 17. Robot Chuck de 6 River Systems.	25
Figura 18. Robot iGo Neo CX20 de Still.....	26
Figura 19. Robot AGV Reachy de Balyo (Linde Robotics)	27
Figura 20. Toyota Autopilot RAE250.	28
Figura 21. Robot ERC216i de Jungheinrich.	29
Figura 22. Robot CR1 de Seegrid.	30
Figura 23. Diagrama de flujo del almacén.	34
Figura 24. Planta del almacén Macetium.	35

Figura 25. MiR 1350 con accesorio elevación pallets.	39
Figura 26. Robot AGV Reachy de Balyo (Linde Robotics)	41
Figura 27. Diagrama de Gantt de la implementación.	44
Figura 28. Diagrama de Gantt de la implantación.....	44

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de AGVs y AMRs estudiados.	31
--	----

1. RESUMEN

El presente trabajo desarrollará el análisis de necesidades, propuesta de diseño e implementación de un vehículo de transporte logístico en un almacén de distribución.

La misión principal de este proyecto es realizar un plan de puesta a punto de un robot autónomo, con todas las fases que ello conlleva. Se busca que mediante ello se satisfaga el objetivo de la empresa de conseguir una reducción de costes fijos y de tiempo de ciclo. Para ello se comienza analizando una contextualización de la composición del almacén, elementos de manutención y los antecedentes que puedan resultar más pertinentes para la aplicación en la empresa. Seguidamente se realiza una propuesta de diseño en base al diagrama de flujo que se obtiene y la adecuación con la planta del almacén de la empresa.

Establecida la base con la que trabajar, se efectúa un plan de acción para la implementación mediante una serie de fases a llevar a cabo, comenzando con la más sencilla: definir los pasos a seguir en general, componiendo el rumbo del proyecto.

A continuación, se realiza una propuesta de solución, la cual queda desestimada porque no satisface los objetivos claros de la empresa. Seguidamente, tras un nuevo análisis de la literatura del proyecto, se elabora una nueva propuesta de solución que, tras analizarla, resulta adecuada para el problema que plantean el cumplimiento de los objetivos de la empresa para este proyecto.

Finalmente se efectúa un seguimiento de la implementación mediante una serie de métricas como son la reducción de los costes operativos y del tiempo de ciclo, así como el retorno de la inversión (ROI). Estas métricas se alinean perfectamente con los objetivos finales de la empresa.

1.1. PALABRAS CLAVE

Almacén logístico, AGV, optimización de costes fijos, métricas, ROI.

2. ABSTRACT

The present Project will develop the requirements analysis, design proposal and implementation of an autonomous logistics vehicle to transport the enterprises' stored goods in its warehouse.

The primary mission of this project is to establish a plan for deploying an autonomous robot, encompassing all the phases involved in this process. The objective is to meet the company's goal of reducing fixed costs and cycle time. To achieve this, the work begins by analyzing the context of the warehouse's structure and reviewing relevant background information applicable to the company.

Subsequently, a design proposal is developed based on the flow diagram designed and its alignment with the layout of the company's warehouse. Once the base framework is established, an action plan is formulated for implementation through a series of phases, starting with the simplest: defining the general steps to be taken and setting the project's direction.

Following this, an initial solution proposal is presented but ultimately discarded as it fails to meet the company's clear objectives. A subsequent review of the project literature leads to the development of a new solution proposal, which, after analysis, proves suitable for addressing the problem while meeting the company's objectives for this project.

Finally, the implementation process is monitored using a series of metrics, including the reduction of operational costs and cycle time, as well as the return on investment (ROI). These metrics align perfectly with the company's ultimate goals.

2.1. KEY WORDS

AGV, logistics warehouse, cost optimization, metrics, ROI.

3. OBJETIVO

El objetivo global de este trabajo consiste en realizar el diseño del plan de implantación de un vehículo autónomo guiado (AGV) en un almacén para la reducción de los costes fijos de la empresa, así como la optimización de sus tiempos de preparación de pedidos entre expediciones.

El proyecto aborda un análisis comparativo de los elementos y características para tener en cuenta para el diseño de este sistema, así como la comparación de sistemas comerciales destinados al mismo fin.

El primer objetivo se basa en analizar las necesidades del sistema a desarrollar, para posteriormente continuar estudiando diversas opciones disponibles en el mercado con el fin perfilar detalladamente las características que formarán parte de la solución seleccionada en el plan de implementación que se desarrolla.

El tercer objetivo, parte principal del trabajo, es el desarrollo del plan de implementación de un vehículo de transporte logístico de almacén, del tipo AGV, incluyendo el análisis de los pasos a seguir para la puesta en marcha de la solución; siguiendo los pasos del diagrama temporal del plan de implementación elaborado para este proyecto, así como la definición de una serie de métricas que permitan el seguimiento de la eficacia de la inversión.

Finalmente, se extraerán los resultados posibles del plan de implantación, para establecer los indicadores a comprobar en el futuro, así como presentar las conclusiones derivadas del trabajo realizado, especificando las posibles líneas futuras del proyecto y su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el marco de la empresa.

4. INTRODUCCIÓN

La empresa Macetium basa su actividad en la adquisición de macetas de polipropileno y terracota de un fabricante portugués, con el objetivo de mantener un stock rotativo para posteriormente vender dichas macetas en pequeñas y grandes superficies en Europa.

Recientemente le ha surgido la oportunidad de invertir una cantidad de capital a medio plazo, por lo que puesto que gran parte de su actividad radica en la distribución logística, uno de sus primeros objetivos es optimizar los tiempos de preparación y expedición de sus pedidos, por lo que busca realizar un estudio exhaustivo de lo que supondría el proyecto para la empresa, desde el análisis de sus instalaciones, optimización técnica de los elementos que posee; así como el desarrollo de un plan para implementarlo a medio – largo plazo.

Puesto que se desea optimizar la funcionalidad del almacén, se debe revisar la planta y distribución de este, lo cual se efectuará en el apartado del desarrollo (Insertar referencia cruzada). Con el objetivo de reducir posibles cuellos de botella, se plantea la automatización como mejora de costes y tiempos, inspirados por la tendencia logística.

Ya que la realización de este proyecto resulta un proceso extenso y tedioso, se realiza un diagrama de flujo que muestra el proceso a seguir.

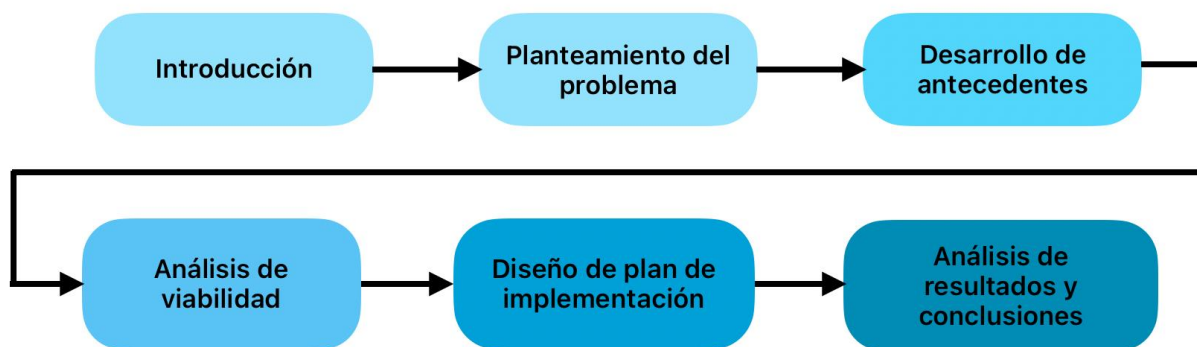


Figura 1. Diagrama de flujo del TFG.

De este modo, el proyecto complejo queda segmentado en partes abordables, de las cuales se generan líneas futuras, definiendo desarrollo integral del plan de implementación.

4.1. MOTIVACIÓN

Los sistemas de transporte de cargas y mercancía resultan esenciales para la optimización del flujo de trabajo en un almacén de productos de cualquier tipo.

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado surge de la necesidad de la empresa de obtener una solución que permita optimizar la gestión de su almacén, así como la preparación de pedidos y expedición de los mismos de la manera más eficiente posible. Por ello, se plantea la implementación de un método de transporte autónomo que reduzca el tiempo de preparación de pedidos y expedición de los mismos, de manera que se vean reducidos los costes operativos de mano de obra y tiempos de ciclo excesivos.

4.2. MÉTODO DE TRABAJO

La realización de este trabajo se dividirá en los siguientes apartados:

En primer lugar, se encuentra la introducción, donde se establecen los antecedentes y definición de algunos conceptos relativos al trabajo cuya función radica principalmente en la contextualización de todo el proyecto. Dentro del marco teórico se sitúan una serie de definiciones y explicación de conceptos necesarios a tener en cuenta para un adecuado diseño del plan de implementación del sistema; así como aspectos generales del almacén que se deben especificar.

Mediante los antecedentes, se analizan los diferentes sistemas de transporte autónomos, con el objetivo de hallar la solución óptima para la situación actual de la empresa.

Dentro de la sección relativa al Desarrollo, se encuentran dos grandes grupos:

- Situación física del almacén: plano de planta y posibles recorridos del AGV, si procede.
- Desarrollo del plan de implantación del AGV.

Seguidamente se encontrarán los apartados de Resultados, donde se estudiarán y analizarán los datos obtenidos de la aplicación del plan de implantación extrayendo conclusiones de los mismos.

Finalmente, se expondrán las conclusiones, así como los ODS relacionados con el proyecto desarrollado. Para concluir se presentan las líneas futuras del mismo.

4.3. MARCO TEÓRICO

A continuación, se muestran las características básicas de los métodos de transporte autónomo, así como una comparación de los modelos que podrían resultar más competitivos para la empresa. Los robots mencionados se tomarán como base a la hora de plantear una posible solución al problema expuesto.

Antes de comenzar a detallar los antecedentes referentes a los robots, se presenta cómo es un robot de este tipo, su funcionamiento, tipos de AGVs, parámetros característicos y tecnologías más habituales con el fin de contextualizar tanto los sistemas previamente existentes como el sistema seleccionado y adaptado.

Se denomina AGV (*Automated Guided Vehicle*) a aquel vehículo autónomo cuyo uso está destinado a entornos industriales y logísticos con la finalidad de mover y transportar cargas de modo que no sea necesaria la intervención de operarios humanos, o su intervención se reduzca significativamente. Por otra parte, se denomina AMR (*Autonomous Mobile Robot*) a aquellos robots diseñados para hacer tareas similares a los AGV, ya que se encargan de desplazar cargas, con la ventaja competitiva de que son capaces de adaptarse al entorno y estructura cambiante del almacén en tiempo real, evitando los costes de tiempo e inversión tecnológica que conllevarían dichos cambios en el entorno funcional del robot en un AGV por los cambios que ello implicaría en cuanto a infraestructura.

En ambos casos, las características diferenciadoras de los robots vienen dadas por la tecnología que los acompaña. Tanto AGVs como AMRs se dotan de multitud de sensores, cámaras y escáneres como sistemas de navegación, pudiendo ayudarse de guiados físicos o marcas en el suelo de manera complementaria.

4.3.1. Sistemas de almacenaje

En el almacén de la empresa Macetium, se toma como parte fundamental el equipamiento que lo compone, así como su sistema de almacenamiento. Ambos definirán las características del sistema para

poder seleccionar un vehículo de transporte más adecuado a las necesidades específicas del mismo.

Con el fin de comprender mejor las necesidades existentes, se procede a detallar los tipos de sistemas de almacenaje más comunes; así como los tipos de equipamiento habituales en un almacén que comparte características con la empresa. Mediante este apartado se contextualiza el entorno del almacén y sus diversos elementos de mantenimiento, aspecto fundamental para la comprensión global del proyecto.

4.3.1.1. Sistemas de almacenamiento

1. **FIFO (First in, First out)**: Sistema donde el primer producto que entre al almacén, será el primero en salir. Se centra en reducir el riesgo de pérdida de producto por obsolescencia, de modo que se emplea en productos perecederos como alimentos, con fecha de caducidad, o como medicamentos.
2. **LIFO (Last in, First out)**: Método donde el último producto en entrar será el primero en salir. Se considera mejor para stocks donde no es crucial la fecha de caducidad o donde no resulte necesario un exhaustivo control de la rotación.
3. **FEFO (First expired, First out)**: sistema donde se prioriza la salida a elementos con fecha de caducidad más cercana. No se tiene en cuenta el orden de entrada de estos productos, ya que se utiliza más en almacenes con gran rotación de productos perecederos, y similar al FIFO, busca reducir las pérdidas por caducidad.
4. **Cross-Docking**: se minimiza el tiempo de almacenamiento, principalmente destinado a situaciones con altos niveles de rotación, donde se recibe e inmediatamente se preparan los productos para su distribución con el fin de reducir los costes de almacenamiento.

4.3.1.2. Tipos de estanterías

- **Selectivas**: Son un sistema flexible de almacenamiento, mediante el cual se permite el acceso a los productos en agrupaciones reducidas frente a otras estanterías de almacenaje mercancías. Se trata del tipo más flexible de estanterías, y resulta adecuado para mercancías de diversos tamaños y compatible con multitud de

equipos de manipulación. Es un método de almacenaje flexible ya que permite alojar multitud de variedades de producto y volumen de los mismos.



Figura 2. Estanterías selectivas.

- **Compactas (Drive-in o Drive-through):** se trata de estanterías donde las carretillas depositan la mercancía sobre los racks, de modo que permite la minimización de espacio necesario, puesto que elimina los pasillos entre estanterías. Por ello, resultan adecuadas para un sistema LIFO.



Figura 3. Estanterías Compactas.

- **Dinámicas:** se trata de un tipo de estanterías en las que a través de un sistema de rodillos y mecanismos de gravedad se permite que los productos se deslicen automáticamente hacia la parte de la cabecera de la estantería según se retiran los productos depositados en ella. Son sistemas óptimos para una distribución

con grandes niveles de rotación, puesto que tienen el objetivo de permitir la carga y descarga de grandes flujos de producto. Se adaptan bien a los sistemas FIFO.

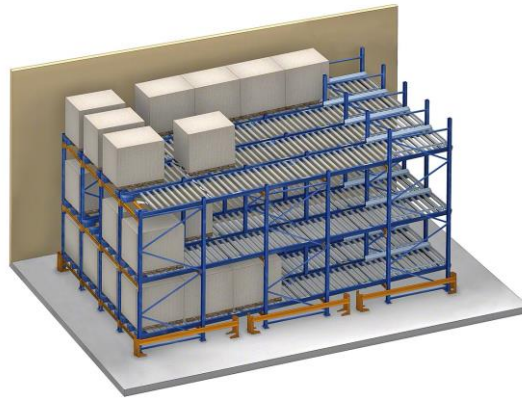


Figura 4. Estanterías Dinámicas.

- **Push-back:** se trata de un tipo de estanterías que permite almacenar múltiples palets en profundidad por cada nivel en la estantería. Al introducir un nuevo palet, los demás se empujan al fondo, y sucede de manera contraria viceversa. Son adecuadas para sistemas de almacenaje LIFO.



Figura 5. Estanterías Push-back.

Existen multitud de tipos adicionales de estanterías de almacenaje como estanterías cantiléver, paternóster, estanterías de archivo móviles, etc.; pero dichos elementos se consideran fuera de rango de estudio de este trabajo de fin de grado, puesto que éste se centra en la distribución de elementos de mayor tamaño y necesita elementos adecuados a ello.

4.3.1.3. Vehículos de manipulación de un almacén

- **Carretillas elevadoras:** se trata de los vehículos usados con mayor frecuencia en almacenes de este tipo, puesto que permiten elevar y desplazar mercancías de gran peso y en diferentes tipos de palets. Existen modelos eléctricos y también de combustión interna, dada la naturaleza de su diseño.



Figura 6. Carretillas Elevadoras.

- **Transpaletas:** son dispositivos utilizados para transportar mercancías a nivel de suelo. Se emplean principalmente en espacios reducidos y con cargas ligeras, y existen versiones eléctricas y manuales.



Figura 7. Transpaletas.

- **Apiladores:** Son equipos que permiten apilar mercancías a varios niveles, así como organizar los productos en altura. Se emplean en almacenes que tengan estanterías compactas o selectivas, y en el mercado hay disponibles modelos manuales, eléctricos y semieléctricos.



Figura 8. Apiladores.

- **Carretillas retráctiles:** se trata de las carretillas destinadas a pasillos estrechos, las cuales permiten alcanzar estanterías con varios niveles de almacenamiento en altura. Están diseñados con un mástil que se retraiga y expanda, optimizando el uso de la altura y permitiendo alcanzar niveles elevados.



Figura 9. Carretillas Retráctiles.

- **Vehículos automáticos (AGV, AMR):** son el foco de este TFG, se trata de vehículos de guiado automático que no precisan del

acompañamiento o intervención del humano para su funcionamiento. Se emplean principalmente en almacenes automatizados, y permiten el transporte de mercancías de manera precisa entre los diferentes puntos de un almacén. Se emplean para multitud de tipos diferentes de cargas, desde elementos pequeños hasta mercancías de más de 1500kg de peso.



Figura 10. Vehículos autónomos (AGV, AMR). Modelo MiR250 de Mobile Industrial Robots.

- **Transelevadores:** se tratan de equipos automatizados encargados de depositar y extraer productos de estanterías de gran altura y de operación en sistemas de almacenamiento automatizado. Por diseño están orientados a productos y mercancías de menor tamaño.



Figura 11. Transelevadores.

4.3.1.4. Tipos de palets o contenedores de mercancía

Con el objetivo de analizar adecuadamente el tipo de carga que se maneja en el almacén, se muestran a continuación los tipos de clasificadores de mercancía con los que sea conveniente operar, de modo que se pueda tener en cuenta para la selección de un vehículo apropiado para la aplicación. Se diferencian dos grandes tipos de palets: americanos o europeos.

Palet europeo:

se trata del tipo de palet estándar en Europa, diseñado de manera optimizada para la mayoría de los camiones y estanterías disponibles en Europa, de modo que las mercancías puedan almacenarse de la manera más eficiente posible en las estanterías.

- Dimensiones: 1200 x 800 mm.
- Capacidad de carga: 1000 – 1500 kg.
- Cuentan con una serie de regulaciones de calidad, seguridad y durabilidad que, junto con su uso estandarizado, permiten también que sea muy reparable.
- Tienen la desventaja de que frecuentemente son pesados, de modo que suele aumentar el peso total del transporte.

Palet americano:

se trata del tipo de palet estándar tanto en América como en el marco internacional. Se optimiza principalmente para productos industriales de gran tamaño, por su diseño.

- Dimensiones: 1200 x 1000 mm.
- Capacidad de carga: 1200 – 1500 kg.
- Tienen mayor superficie, por lo que aportan más versatilidad, lo cual facilita la exportación, así como transportar cargas de mayor volumen.
- Tiene el inconveniente de que su mayor superficie dificulta la manejabilidad que se pueda tener del palet.

Cada tipo de palet tiene sus ventajas e inconvenientes, pero la diferencia más característica es la capacidad de volumen de carga que tienen, puesto que el palet americano es capaz de almacenar mayores volúmenes, y en caso de querer realizar exportaciones extracomunitarias, la utilización del palet americano ahorra el coste de paletizar dos veces, en caso de pasar la carga de un palet europeo al americano. En el caso de las macetas de la empresa Macetium, lo óptimo sería emplear palets americanos, ya que las macetas pueden necesitar ser apiladas en bloques

no estandarizados por las formas disponibles, o que precisen diferentes palets en función del tamaño de maceta.



Figura 12. Comparación de palets americano vs. europeo.

Adicionalmente existen otros tipos de contenedores de mercancía y distribución en función del uso al que estén destinados y la forma en que vayan a ser transportados. Algunos ejemplos adicionales serían contenedores de columna, roll container, gitter box, pallets para aviación o automoción; pero no se describen en detalle puesto que no resultan adecuados para el almacenaje y transporte de macetas.

Una vez comprendidos los diferentes tipos de sistemas de almacenaje, así como estanterías y vehículos disponibles en un almacén de distribución logística, se procede a analizar en mayor detalle los vehículos automáticos, en los cuales se centra el desarrollo de este trabajo.

4.3.2. Características principales de AGVs

Dentro de las características de los vehículos autónomos sujetos a estudio de este trabajo, se pueden destacar las siguientes:

1. Independencia del sistema: puesto que los robots no son operados en ningún momento por personas, y algunos de ellos tienen la capacidad de redirigirse en función de los obstáculos que encuentren a su paso.
2. Optimización de tiempos: una de las grandes características de este tipo de sistemas es que permiten una optimización de tiempos para la empresa, puesto que posibilitan a los operarios a destinar su tiempo a otras actividades que se requieran; así como realizar los desplazamientos de carga de manera más rápida y eficaz.
3. Aumento de capacidades de carga: Los robots logísticos cuentan con una serie de ventajas competitivas que les permite desplazar cargas

mayores que las que podrían realizar operarios, así como hacerlas de manera más eficiente.

4. Flexibilidad: Mientras que cualquier tipo de reestructuración organizativa en el almacén supone un gran coste económico y temporal para empresa, en el caso de tener que realizar cambios en el *layout*, los robots no supondrán costes adicionales ya que poseen la capacidad de volver a generar sus rutas de manera sencilla y rápida.
5. Integración en los sistemas de la empresa: puesto que multitud de almacenes cuentan con sistemas de gestión internos, así como sistemas de stocks y gestión de almacén, resulta muy conveniente que estén dotados de conexiones con estos programas informáticos, de modo que se facilite la gestión de las existencias y productos terminados de una manera mucho más eficiente.

En el aspecto de características físicas de los AGVs se ahondará posteriormente en el apartado (4.3.3 Tipos de AGVs y Tecnologías)

4.3.3. Tipos de AGVs y Tecnologías

En este trabajo de fin de grado se pone el foco en dos tipos de vehículos autónomos: AGVs y AMRs. Por tanto, para hablar de los tipos de vehículos se diferencian principalmente:

- **AGV**: vehículo automatizado, siguiendo una estructura fija, sin flexibilidad de rutas.
- **AMR**: vehículo autónomo que mediante sensores y algoritmos calcula sus rutas de manera dinámica.

Entre sus tecnologías destacan:

- Guiados por líneas: mediante líneas pintadas en el suelo o cintas magnéticas efectúan las rutas previamente diseñadas.
- Guiado láser
- Navegación de mapeo libre, que a través de sensorización como escáneres 3D, LiDar permiten que el robot sea capaz de reconocer el entorno conforme se desplaza para realizar las rutas óptimas.

Se pueden destacar dos clasificaciones principales de estos robots: los AGV de transporte encargados de desplazar carga, que precisan de una serie de infraestructuras adicionales; y los AGV elevadores, que de manera autónoma pueden recoger palets de las estanterías y transportarlos de un lugar a otro.

A continuación, se procederá a detallar ejemplos de los mismos a través de los antecedentes.

4.3.4. Antecedentes y comparativa de AGVs.

Actualmente existe una gran variedad de vehículos móviles dirigidos al sector de la logística automatizada, diseñados con el objetivo de poder optimizar dichos procesos y ahorrar costes. Dichos vehículos se encuentran disponibles con una gran variedad de opciones de configuración y características técnicas, así como sistemas de seguridad y navegación.

En este apartado se realiza una comparativa de los modelos más competitivos del mercado para su posterior selección para la aplicación propuesta. Se procede a destacar las marcas de AGV y AMR más destacables según las necesidades de la empresa.

4.3.4.1. Mobile Industrial Robots (MiR)

Esta empresa centra su diseño de robots en los AMR, dirigiéndose a entornos industriales y logísticos. Poseen modelos orientados a diferentes segmentos, diferenciándose, principalmente, en la capacidad de carga que tienen.

Sus robots se caracterizan por la capacidad de redireccionar su ruta y navegar evitando obstáculos que poseen, gracias a una fuerte sensorización, la cual adicionalmente les dan altos niveles de seguridad. Esta avanzada tecnología permite que no necesiten una infraestructura fija para su operación, ni necesiten ser reprogramados según cambios en su entorno, por lo que facilita el desempeño de la actividad.

Adicionalmente, son compatibles con sistemas de gestión de almacenes, de modo que permiten que la automatización del almacén sea más sencilla y optimizada.

Otra gran característica de estos robots es que permiten la adición de módulos adicionales, como plataformas elevadoras y módulos para palets, por lo que la ejecución de tareas específicas resulta más cómoda por esta personalización.

MiR 1350

Este AMR destaca por el uso del sistema de navegación *SLAM: Simultaneous Localization and Mapping*, mediante el cual emplea de manera coordinada y simultánea el mapeo y la localización, ya que sus potentes sensores de detección le permiten detectar obstáculos y calcular la mejor ruta alternativa en tiempo real. Sería el robot idóneo para cargas medias y pesadas, además de que permite la adición de complementos como plataformas elevadoras y accesorios de palets, que le sitúan como opción competitiva y versátil.



Figura 13. Robot MiR 1350 de Mobile Industrial Robots

Estos robots destacan en aplicaciones donde la carga a desplazar sea entre media y pesada, así como transporte de pallets o entrega de suministros en áreas de *picking*.

MiR 1200 Pallet Jack

Este AMR, con las mismas características de los AMR de tamaño reducido de la empresa, no solo es capaz de desplazar la carga, sino de recogerla por sí mismo también. Su gran autonomía le permite destacar a la hora de sacar un rendimiento mayor de su tiempo en funcionamiento.



Figura 14. Robot MiR 1350 de Mobile Industrial Robots

Este robot destaca por la autonomía que brinda, permitiendo la sustitución de elementos como las carretillas elevadoras para brindar al almacén de una autonomía plena.

4.3.4.2. Fetch Robotics

La empresa Fetch Robotics se centra, de manera similar a MiR Robotics, apuesta por tocar a sus modelos de unos avanzados sensores para la navegación autónoma, así como permitir su integración en entornos informáticos de gestión de almacenes.

Freight 500

Este robot cuenta con una capacidad de carga de 500kg, y a pesar de ello, resulta un robot compacto y ágil de carga media, siendo capaz de desplazar eficientemente cajas o palets pequeños; aunque cuenta con la desventaja de que no es capaz de desplazar cargas muy pesadas.



Figura 15. Robot Freight 500 de Fetch Robotics.

Freight 1500

De manera similar a la versión con menos capacidad de carga, el Freight 1500 es capaz de desplazar cargas pesadas y palets de tamaño y carga completa de manera estable y versátil.

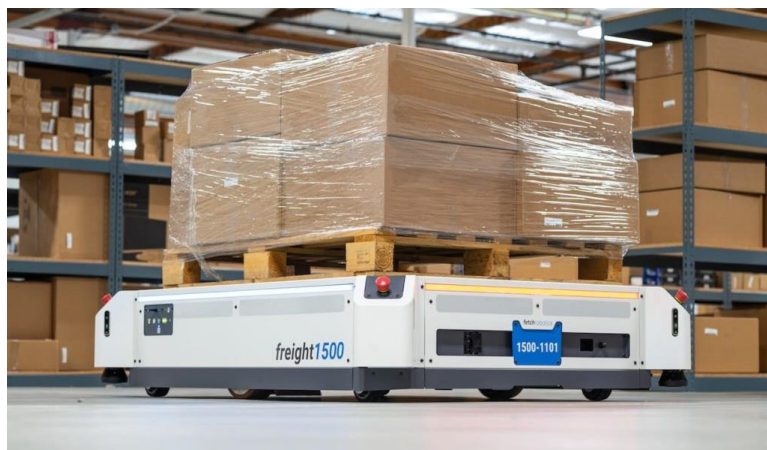


Figura 16. Robot Freight 1500 de Fetch Robotics.

Destaca en el desplazamiento de cargas medias y pesadas, así como en el transporte de palets y optimización de tiempos de transporte de manera ágil. Cuenta con una tecnología de mapeo potente,

haciéndolos AMR. Sus sensores LiDar permiten una navegación autónoma y versátil, la cual les permite adaptarse a obstáculos en el entorno sin efectuar cambios en su software.

4.3.4.3. 6 River Systems

Se trata de una empresa tecnológica dedicada a fabricar robots del tipo colaborativo, en versión de AGV. La combinación de ambas características permite a estos robots, potentes en el marco de los vehículos autónomos, diferenciarse del resto y orientarse al campo del transporte de mercancías de pequeño tamaño.

Chuck:

Este robot AMR facilita el picking gracias a su diseño interactivo en varias alturas, y su dinamismo colaborativo diseñado para trabajar junto con empleados humanos y sincronizarse con los sistemas de gestión de almacenes propios de la empresa. Le diferencia de los demás robots de este tipo lo colaborativo que es, ya que está específicamente diseñado para ello.



Figura 17. Robot Chuck de 6 River Systems.

Su principal aplicación es el *picking*, por lo que para transporte de elementos grandes y pesados como palets no resulta apropiado.

Como parte de la fase 2 de este plan de implementación se realiza una nueva búsqueda de AGVs como antecedentes del proyecto, ya que los analizados en la primera fase del proyecto no resultan apropiados para las necesidades de la aplicación.

4.3.4.4. KION STILL

Esta empresa alemana cuenta con diferentes líneas de productos de maquinaria, desde utensilios como motosierras o elementos de jardinería hasta soluciones logísticas como el AGV que se detalla a continuación. La empresa cuenta con el reconocimiento de la confiabilidad y robustez de sus productos.

iGo Neo CX20

Este robot posee la capacidad de recoger de manera precisa palets de estanterías bajas y de mediana altura de manera autónoma. Adicionalmente, cuenta con la capacidad de trabajar de manera colaborativa junto con operarios humanos.

Es capaz de trabajar en entornos dinámicos y cambiantes, y su tamaño medio permite que trabaje sin necesidades específicas de espacio.



Figura 18. Robot iGo Neo CX20 de Still

Su aplicación ideal es en procesos con tareas repetitivas. Tiene la limitación de la altura de operación, puesto que no podría operar a más de 5 metros de altura.

4.3.4.5. BALYO

Se trata de una empresa francesa cuyo nicho de mercado son los robots de guiado autónomo, los AGVs. Cuenta con múltiples modelos de este tipo de robots, pero para esta aplicación se destaca el modelo Reachy, puesto que puede operar en altura. Esta empresa colabora con la multinacional Linde, aportando mejores características en cuanto precisión a sus soluciones.

REACHY

Este robot destaca por la capacidad de operación en altura, entre 9 y 11 metros, unido con sistemas avanzados de guiado mediante tecnología LiDAR y SLAM. Además, es capaz de operar en altura de manera precisa y sin perder *performace* en cuanto a capacidad de carga.



Figura 19. Robot AGV Reachy de Balyo (Linde Robotics)

Es adecuado para multitud de tareas, ya que le aporta gran versatilidad a la empresa por la elevada carga que es capaz de manejar sin ver afectada la precisión de operación.

4.3.4.6. TOYOTA

Análogamente a otras empresas del sector del automóvil, Toyota cuenta con una división destinada a la logística con el fin de aunar conocimientos y tecnología de navegación avanzada para aplicarla en tareas de cargas pesadas y que impliquen soluciones verticales.

Autopilot RAE

Este robot de apilado autónomo cuenta con la capacidad de operar con cargas muy pesadas, de hasta 2.5 toneladas, y en grandes alturas, en estanterías de entre 10 y 12 metros. En contraposición, se trata de un robot de grandes dimensiones y peor manejabilidad.



Figura 20. Toyota Autopilot RAE250.

4.3.4.7. Jungheinrich

Esta empresa es altamente conocida por la fabricación de equipos de manipulación y almacenamiento precisos y muy competitivos. Además de multitud de vehículos de almacén como transpaletas y elementos similares, cuenta en su catálogo con un AGV interesante para la aplicación sujeta a estudio.

ERC 216i

Se trata de un robot compacto capaz de operar cargas intermedias, de hasta 1600kg en espacios estrechos. Además, su avanzada tecnología le permite navegar mediante marcadores OCR. Tiene la desventaja de que tan sólo opera en alturas de hasta 6 metros.



Figura 21. Robot ERC216i de Jungheinrich.

4.3.4.8. Seegrid

Se trata de una empresa estadounidense experta en el diseño y fabricación de robots AGV con sistemas de navegación visual, capaces de operar cargas medias y elevadas, de hasta casi 2000 kg, y con la ventaja de aportar una integración sencilla en los almacenes.

CR1 PALION LIFT

Este robot de navegación visual robusta mediante cámaras 3D y tecnología SLAM se encuentra más enfocado al transporte en alturas medias, pero cuenta con una capacidad de carga muy elevada y una integración muy sencilla en el sistema existente en el almacén.



Figura 22. Robot CR1 de Seegrid.

Finalmente, se realiza una tabla comparativa de dichos robots, con el fin de evaluarlos. Todos ellos destacan por su gran adaptabilidad, lo cual les permiten operar en entornos muy dinámicos y dotándoles de mayor eficiencia en el picking. Existen otros modelos de AGVs como el Uwant, SSI Schafer Weasel o Robotnik Rb-1, los cuales podrían considerarse para este trabajo como antecedentes adicionales, pero su aplicación iría destinada a cargas que no necesitasen ser obtenidas de estanterías, o aplicaciones donde interesase añadir un AGV de transporte de manera adicional a otros tipos de vehículos de almacén.

Tabla 1. Comparativa de AGVs y AMRs estudiados.

Robot	Dimensiones (cm)	Capacidad de Carga	Tipo de Guiado	Autonomía (horas)	Velocidad Máxima (m/s)	Sensores
MiR1350	135 x 92 x 40	1350 kg	LIDAR, SLAM	8-10	1.2	LIDAR, cámaras, sensores ultrasónicos
MiR 1200 Pallet Jack	135 x 92 x 33	1,200 kg	SLAM con LIDAR y cámaras	10	1.5	LIDAR, cámaras 3D, sensores ultrasónicos
Fetch Robotics Freight500	91 x 69 x 36	500 kg	SLAM y navegación autónoma	9	1.5	LIDAR, cámaras
Fetch Robotics Freight1500	135 x 92 x 40	1500 kg	SLAM y navegación autónoma	8-9	1	LIDAR, cámaras
6 River Systems Chuck	63 x 48 x 51	45 kg	Sensores de navegación	12	1.5	LIDAR, sensores ultrasónicos
KION STILL iGo Neo CX 20	290 x 92 x 220	2,000 kg	Sensores LIDAR, navegación autónoma	08-10	2.0	LIDAR, sensores ultrasónicos
BALYO Reachy	280 x 120 x 250	2,500 kg	SLAM, LIDAR	8-10	1.8	LIDAR, cámaras
Toyota Autopilot RAE	305 x 125 x 235	2,500 kg	SLAM, LIDAR	10	1.7	LIDAR, cámaras, sensores ultrasónicos
Jungheinrich ERC 216a	220 x 90 x 200	1,600 kg	Navegación basada en marcadores ópticos	8-10	1.6	LIDAR, sensores de proximidad
Seegrid Palion Lift	250 x 110 x 230	2,000 kg	Navegación visual, SLAM	8-10	1.5	Cámaras, sensores infrarrojos

4.3.5. Características técnicas de los AGVs a tener en cuenta

A la hora de poner en contexto los robots destinados a almacenes, se deben tener en cuenta factores técnicos que, en conjunto, proporcionarán una mayor puntuación al sistema que se seleccione, ya que permitirá una adaptación al almacén de la empresa más sencilla y cómoda conforme más se adecue a las características del almacén sin modificaciones. Estas características clave, son:

- Motores.
- Sistemas de desplazamiento.
- Sensores de posicionamiento.
- Sensores de protección.
- Velocidad de desplazamiento.
- Autonomía.

Las cuales, de manera global, generarán un robot más competitivo que se pueda adaptar mejor a la empresa en función de las necesidades pertinentes.

5. DESARROLLO

Para el desarrollo de este plan de implementación de un vehículo autónomo, se va a centrar el diseño en torno a los AGV y AMR principalmente, puesto que otros tipos de métodos de transporte como carretillas o transpaletas no cuentan con el mismo tipo de ventajas ni flexibilidad que brindan los AMR y AGV.

En la empresa Macetium se busca obtener una mejora de tiempos de gestión de inventarios y rendimiento del almacén, con el objetivo final de disminuir los costes fijos de la empresa. Mediante la implantación de un robot autónomo que transporte los palets de macetas por el almacén se prevé un ahorro de tiempo de preparación de pedidos, así como proporcionar una mejor gestión del almacén ya que la operación precisa por parte de los robots evita equivocaciones en la recogida de palets de las estanterías, y optimización de tiempos de desplazamiento por parte de los mismos.

De este modo, se pretende adicionalmente reducir posibles cuellos de botella en el flujo de actividad, como las islas de preparación de pedidos, donde podrían relocalizarse algunos de los trabajadores que no interesase reducir de la plantilla.

5.1. DIAGRAMAS

Para mostrar la funcionalidad del robot en las instalaciones de la empresa se elabora un diagrama de flujo del proceso.

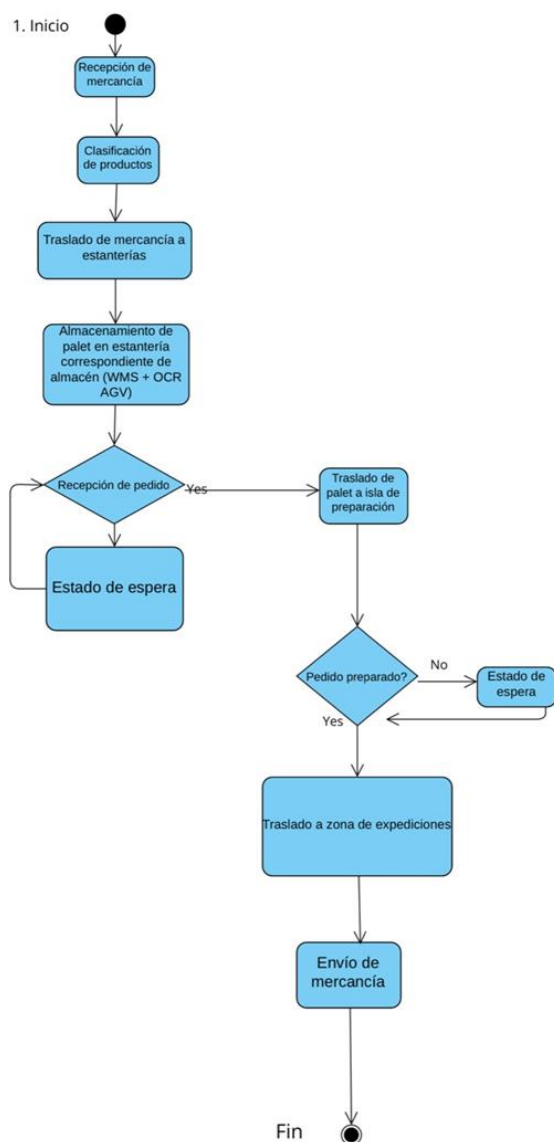


Figura 23. Diagrama de flujo del almacén.

A lo largo de las estanterías compactas que posee la empresa, se catalogarán las distintas referencias de los productos disponibles por

huecos de estantería, de modo que posteriormente tanto el sistema como los robots sean capaces de completar el *tracking* de los elementos y ubicarlos adecuadamente, para evitar pérdidas de material o errores tanto de destaje como de localización de los elementos.

A la hora de realizar el *picking*, el robot podría ser capaz, si está dotado del sistema adecuado, de situar mediante tecnología RFID o reconocimiento óptico OCR la ubicación exacta de cada palet para realizar la selección adecuada. Asimismo, la sincronización exhaustiva y adaptabilidad del sistema permiten que el programa y base de datos del sistema de gestión de almacenes (WMS) con el que ya contaba la empresa se mantenga en un punto óptimo de funcionamiento, evitando la generación de incidencias por desaparición de materia prima o similares.

5.2. PLANTA DE ALMACÉN

Se cuenta con la siguiente planta de almacén en la empresa Macetium:

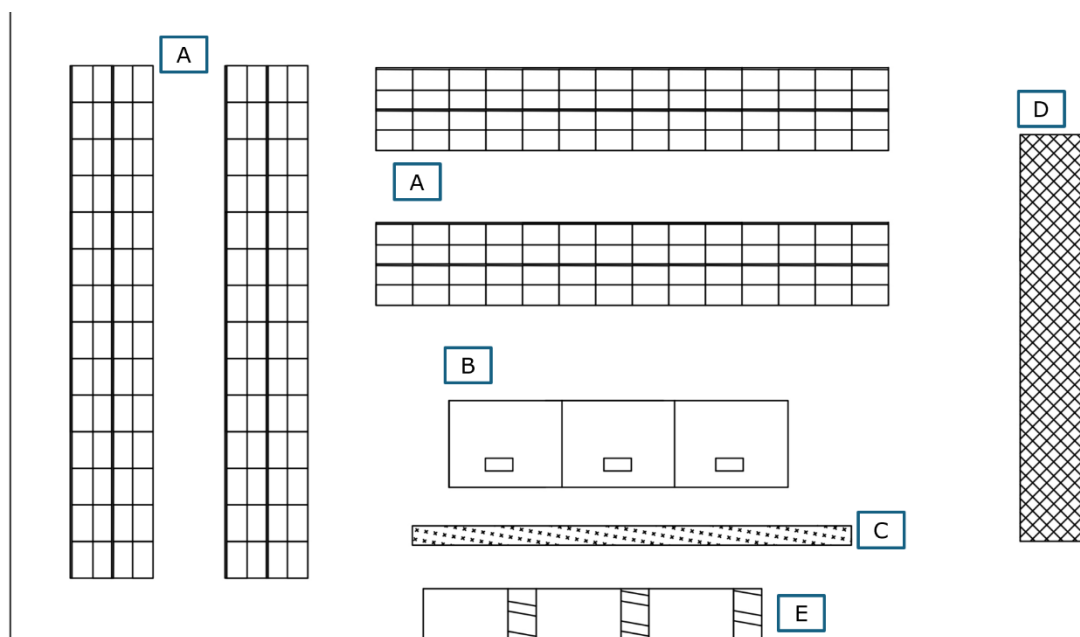


Figura 24. Planta del almacén Macetium.

Donde se encuentran claramente diferenciadas las secciones correspondientes con el almacén y los muelles de carga. Dentro de la sección del almacén se diferencian las siguientes zonas:

- A) Zona de estanterías. Compuesta por una serie de estanterías compactas donde se almacena el material, correspondiente con la materia prima de la empresa.
- B) Zona de preparación de pedidos. Son las islas donde se despaletizan las referencias almacenadas con el fin de realizar la agrupación de pedido en caso de ser necesario, y se preparan los mismos para su expedición.
- C) Playas de expedición. Lugar donde se sitúan los pedidos antes de ser expedidos.
- D) Zona de *parking* de vehículos. Es la sección rayada donde se aparkan los vehículos operados (carretillas, transpaletas) cuando no se estén utilizando.

Adicional a estas zonas diferenciadas, se deberá añadir lo siguiente:

- Zona de carga de vehículos, la cual se puede incluir en el aparcamiento de los vehículos de los que ya dispone la empresa. Esto dotará al almacén de una sección donde se puedan situar los robots mientras se cargan, se mantienen a la espera de la siguiente orden de trabajo o donde se puedan realizar los mantenimientos de los robots.

5.3. PROPUESTA DE PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

A la hora de realizar una propuesta final de implantación del sistema en la empresa, se deben tener en cuenta los flujos de trabajo, tiempos de servicio y en general, los flujos de actividad de la misma con el fin de identificar los momentos denominados picos de actividad, donde resultará complicado efectuar cualquier modificación necesaria en el almacén; así como los momentos valle, donde la carga de trabajo sea menor y por tanto realizar modificaciones estructurales en la empresa no suponga un gran esfuerzo a los trabajadores.

Se debe hacer un resumen de las necesidades del sistema, con el objetivo de realizar una selección óptima del vehículo a utilizar.

Sistema de almacenamiento de la empresa: en el caso de Macetium no resulta crucial el tiempo de almacenamiento por pérdida de productos por obsolescencia, por lo que un sistema *cross-docking* sería igualmente válido, pero por la situación de las estanterías, se empleará un sistema LIFO, donde el primer palet que introduzca el AGV será el último en salir.

Carga a transportar: palets de macetas de tipo americano, que supondrá una carga variable en función de la referencia de producto, pero que típicamente se situarán en agrupaciones de entre 1000 y 1250kg. Dichos palets se situarán en las estanterías compactas catalogados por referencias, de modo que la carga a transportar el robot no superará los 1300kg en ningún caso.

Distancia por recorrer: variable según el recorrido, pero la planta del almacén se encuentra distribuida de manera equitativa, centrandó tanto islas de preparación de pedidos como muelles de expedición, con el objetivo de que las distancias sean similares independientemente del camino tomado.

Complejidad del recorrido: media. Se pretende mantener unos pasillos lo más despejados posible, con trazado específico de los recorridos prestando especial atención a los trayectos de las personas. A pesar de ello se conoce que en el transcurso del día a día los almacenes logísticos pueden verse sobrevenidos por situaciones donde la carga de trabajo sea tan alta que el manejo de los diferentes vehículos que compongan el parque tecnológico de vehículos de almacén de la empresa resulte complicado y el robot seleccionado deba ser capaz de adaptarse sin necesidad de reprogramarlo con cada uso.

Como se muestra en el diagrama de flujo, 5.1 *Diagramas*, el AGV se encarga tanto de realizar la carga de productos de materia prima (palets que provienen directamente de fabricante), catalogados por referencia y

que, como se menciona anteriormente en el apartado 5.1 *Diagramas*, se seleccionan mediante reconocimiento óptico (OCR) y RFID; como de retirarlos posteriormente de las estanterías haciendo el picking de palets para trasladarlos a las islas de preparación de pedidos y, una vez preparados, situarlos en las playas de expedición para enviarlos al respectivo cliente.

En un almacén de características ideales y con un capital disponible para la inversión ilimitado, lo idóneo sería realizar una selección de un tipo de vehículo para cada tipo de tarea, de modo que el almacén quedase totalmente automatizado. Ya que ese no es el objetivo del trabajo por los altos costes que supondría, tanto económicos como de cantidad de tiempo a invertir en la remodelación y adaptación tanto de instalaciones como de elementos de manutención, se pone el foco en la selección del vehículo que permitirá llevar la carga correspondiente con la materia prima desde la zona de almacenaje hasta las islas de preparación de pedidos. Para ello, se debe seleccionar un AGV o AMR capaz de trasladar los pesados palets de una ubicación a la otra.

Se busca seleccionar un dispositivo que sea versátil, y no requiera de unos costes de mantenimiento en cuanto a cambios de la infraestructura, así como que tenga la capacidad de trabajar de manera colaborativa con elementos de otro tipo como carretillas que operen con las estanterías u operarios que se encuentren trabajando en el almacén.

Fase 0

Como aspecto inicial previo a la selección de un vehículo que implementar, primero se debe realizar una lista de pasos de acción a llevar a cabo para el correcto desarrollo del proyecto. En consonancia con la dirección y responsables del proyecto, se consensuan los siguientes pasos a seguir:

1. Estudio de necesidades.
2. Decisión de vehículo AGV: en función de necesidades.
3. Estudio de la inversión: cálculo de costes del mismo, ahorro que supone, cálculo de ROI y conclusión de viabilidad.
4. Lanzamiento de orden de compra.
5. Aprovisionamiento.
6. Preparación de instalación: acondicionar zonas de aparcamiento y carga.
7. Puesta en marcha.
8. Seguimiento.

Primera fase

En una primera fase del desarrollo de la implementación, se plantea la selección de uno de los robots que se clasifican como AGV de transporte de carga, al cual se le podría dar la funcionalidad de desplazar la carga desde la zona de estanterías del almacén hasta las islas de preparación de pedidos (ver plano 425.24.73.1 y sección 5.2 *Planta de almacén*).

En este caso se concluye que la selección óptima recae sobre un robot del tipo AMR, y dada la carga que se necesita transportar, la elección más adecuada, versátil y eficiente resulta el robot MiR1350, con la dotación adicional del accesorio para elevación de palets.



Figura 25. MiR 1350 con accesorio elevación pallets.

Para ello, sería necesario o bien añadir una sección donde los operarios del almacén pudieran depositar la mercancía tras retirarla de las estanterías; o bien se podría plantear el uso del AGV en la preparación de las expediciones del día siguiente, para lo que sería necesario añadir una zona de estanterías dinámicas que permitiera mediante un sistema FIFO recoger los palets en orden para llevarlos a las zonas de expedición. Esto supondría dos principales problemas:

- Mayor inversión al tener que realizar modificaciones en la infraestructura del almacén.
- Ineficiencias operativas, ya que no se reducen los costes operativos de la empresa, sino que se incrementan y pierde sentido la justificación del proyecto.

Debidas a las ineficiencias que supone este planteamiento y la injustificación de la inversión a realizar, la fase 1 del proyecto queda

desestimada por el no cumplimiento de los objetivos planteados para el proyecto.

Alternativamente, se continúa buscando soluciones para abordar el problema estudiado: la búsqueda de reducción de costes de infraestructura del almacén y optimización de la gestión del mismo.

En esa búsqueda se encuentra el segundo tipo mencionado en el apartado 4.3.3 Tipos de AGVs y Tecnologías, donde los robots elevadores juegan un papel fundamental y decisivo, ya que la versatilidad operativa que ofrecen desemboca en la segunda fase de desarrollo del plan de implementación.

Segunda fase del proyecto

Siguiendo el análisis comparativo del apartado de los (4.3.4 Antecedentes y comparativa de AGVs.), se comprueba que los AGV elevadores suponen una serie de ventajas tácticas y operativas que los AGV de transporte no son capaces de ofrecer:

- Autonomía: son capaces de operar de manera independiente sin necesidad de que un operario les coloque la carga en una plataforma donde los robots pudieran recogerla.
- Reducción de costes: satisfacen la inquietud de la empresa de reducir sus costes fijos derivados de la cantidad de operarios ineficientes en el almacén.

De este modo, resulta evidente que la selección óptima del robot recae en este segundo tipo de AGV.

Tras seleccionar el tipo general de robot, resulta necesario realizar una comparación técnica entre los robots del mismo estilo para seleccionar uno concreto. Debido a las notables diferencias tanto técnicas como económicas, se decanta la selección por el robot Balyo Reachy, de Linde Robotics (ver 4.3.4.5 *BALYO*).



Figura 26. Robot AGV Reachy de Balyo (Linde Robotics)

Se concluye que esta es la selección más adecuada ya que este robot cuenta con las siguientes características ventajosas:

- Operación a alturas elevadas. Este AGV puede operar en estanterías altas gracias a su sistema telescópico. Resulta conveniente ya que el almacén de Macetium cuenta con varios niveles de altura por cada estantería.
- Potente sensorización y sistema de guiado. Una gran característica del robot es que su sistema de navegación autónomo se basa en el sistema LiDAR y la tecnología SLAM, por lo que el cálculo de rutas alternativas en tiempo real resulta óptimo.
- Sistema preciso y fiable.
- Dimensiones de 280x120x250 cm, por lo que con una capacidad de carga de 2000kg sigue siendo un robot maniobrable en el almacén sin necesidad de adaptar la infraestructura.
- Gran autonomía de entre 8 y 10 horas.

Se estima que se deberían comprar 2 robots de este modelo, con el fin de emplearlos a lo largo de los 3 turnos de la empresa, introduciéndolos de manera gradual, para reducir los costes operativos y suponer un impacto positivo en el tiempo de ciclo de los pedidos de la empresa. Se puede consultar la comparativa con los demás robots de características similares en el apartado 4.3.4.5 *BALYO*; así como en la *Tabla 1. Comparativa de AGVs y AMRs estudiados*.

Para realizar una justificación completa de la decisión de invertir en un vehículo de estas características, se deben establecer una serie de puntos y métricas a controlar en los siguientes momentos del plan de implementación. Primero, como uno de los principales *targets* de la empresa al efectuar esta inversión radica en la reducción de costes fijos para la empresa, el primer punto se resume en la reducción de personal. Contando con el salario base de un operario medio en unos 18000€, de media supondrá para la empresa unos 24000€.

Estimando una plantilla dimensionada en 20 trabajadores por turno, suponiendo que tuvieran el mismo sueldo todos ello implicaría que la empresa tuviera unos gastos fijos de 480000€ en personal, que repartido en los 3 turnos suponen 1,44 millones de euros anuales en personal.

Con una cotización de un AGV como el seleccionado de 500000€, donde cada robot supone el trabajo de 8 personas, ya que serán capaces de mover un volumen muy alto de elementos que los operarios no eran capaces, se deberá calcular el retorno de la inversión esperado para estudiar si resulta una inversión óptima. Para ello se deberá tener en cuenta el valor de la inversión, los beneficios totales anuales, BTA, y los costes operativos anuales, COA. Dicho cálculo se lleva a cabo en el apartado del 6.3 Retorno de la inversión, donde también se comentan las métricas a tener en cuenta para el seguimiento del proyecto. De este modo se estudiará y analizará si el coste de la inversión viene justificado, así como si se cumplen las expectativas de la empresa en cuanto al ahorro de los costes.

A la hora de introducir el robot en la empresa, se decide introducirlo escalonadamente. Para ello, se comienza proporcionando a los robots la capacidad de gestionar la preparación de expediciones del día siguiente, en el turno de noche, puesto que es el turno que más coste genera a la empresa. De este modo se comienza reduciendo la cantidad de operarios del turno que más coste supone a la empresa, dejando un número mayor de empleados al principio, 10 para operación de carretillas elevadoras, preparación y gestión; con vistas a reducirlo nuevamente y terminar dejando 5 operarios finalmente para preparación de pedidos y supervisión del almacén, por si hubiera cualquier problema. Seguidamente, se propone dotar también al sistema autónomo de la selección y recolección de palets de las estanterías, de modo que se reduce el número de operarios a la mitad, de modo que los relocalizados fueran capaces de operar los vehículos tradicionales de los que disponga la empresa durante el periodo de adaptación, y gradualmente pudieran reducir su presencia en el resto del almacén. Se debe contar con que esta reducción no se

puede efectuar de manera drástica, sino que debe llevar unas semanas su puesta a punto.

El siguiente paso radica en introducir esos mismos cambios en los otros dos turnos, de manera paulatina, de modo que finalmente la cantidad de empleados de la empresa se vean reducidos notablemente, de 20 empleados por turno repartidos en 3 turnos; a menos de esa cantidad repartidos entre los 3 turnos.

Finalmente, para una óptima implementación del vehículo, se deberán conocer los periodos de actividad de la empresa y cuándo fluctúa la actividad de la misma. Se detecta que en la empresa Macetium el momento valle que podría resultar más adecuado para la implantación del sistema sucede entre los meses de septiembre y diciembre, puesto que de enero en adelante las situaciones fluctúan mucho y de abril a junio sucede el momento de pico máximo. Por tanto, se elabora un diagrama Gantt con el objetivo de ilustrar el plan de implementación del sistema en la empresa y facilitar el seguimiento del mismo.

5.3.1. Diagrama de Gantt de la implantación

Se ilustra el plan de acción temporal de la siguiente manera:

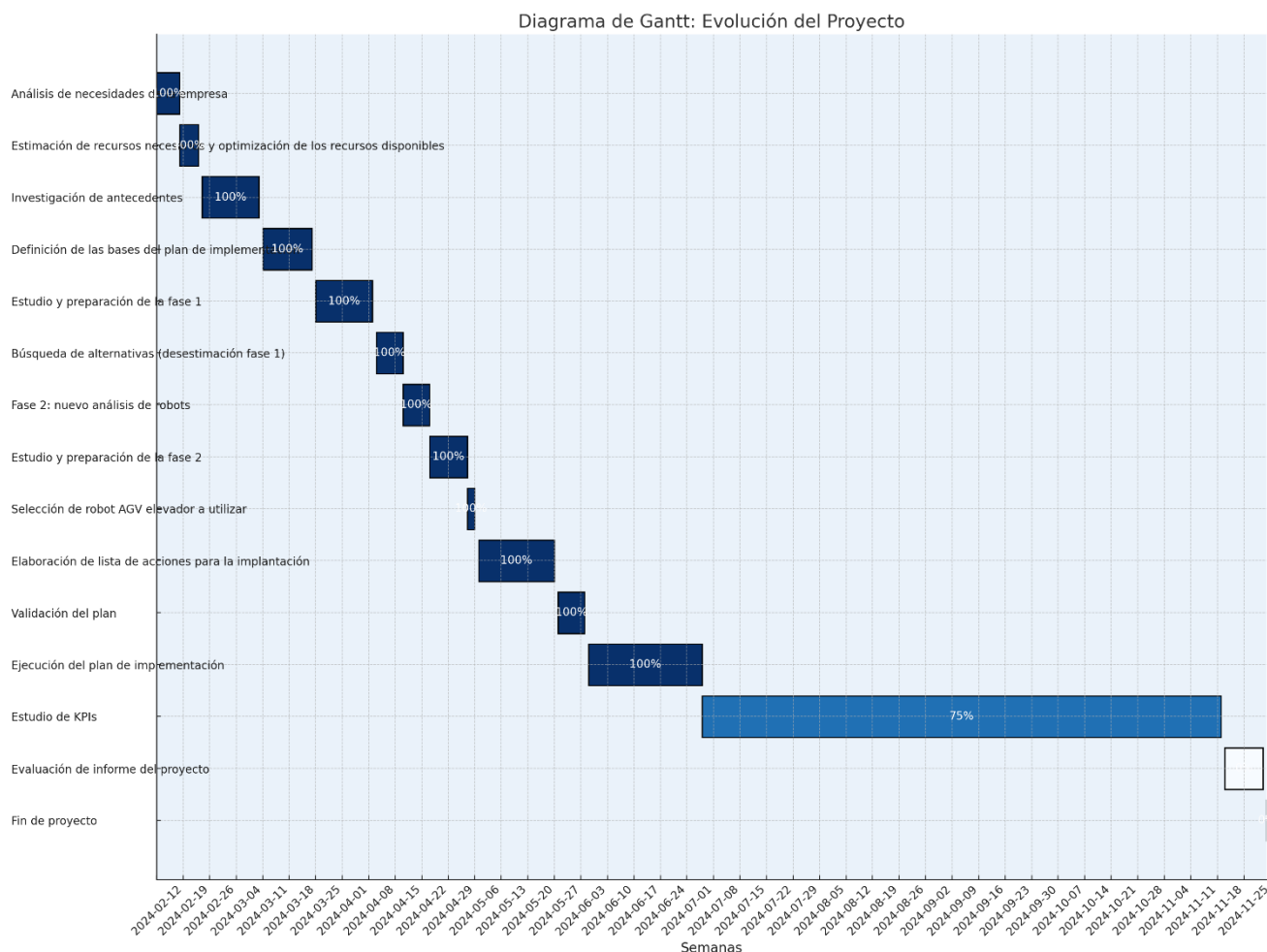


Figura 27. Diagrama de Gantt de la implementación.

Se plantea en su totalidad el plan de implementación para una duración de 43 semanas, desde el planteamiento inicial hasta el seguimiento del funcionamiento del sistema. Se estima que la fase inicial de investigación, análisis de necesidades y recursos se espera que tenga una duración de mes y medio (1/2 febrero -> final de marzo), seguida de la definición del plan de implementación (4 semanas), toma de decisiones y selección de productos (3 semanas) validación del plan (2 semanas), ejecución del plan (fases 1 y 2), que supone 6 semanas; seguido del estudio de KPIs para la evaluación de los resultados de la

implementación. Finalmente se elabora un informe general en las últimas semanas del proyecto.

De este modo, la implantación completa desde planteamiento inicial a cierre de proyecto se llevará a cabo a lo largo de menos de un año.

6. RESULTADOS

Tras realizar el plan de implementación del robot, los resultados no son otros que la comprobación de que la planificación se ejecuta como se esperaba y comprobar que la evolución a lo largo del tiempo sea favorable. De este modo, se permite evaluar el diseño y funcionalidad del plan realizado y comprobar si se cumplen los objetivos establecidos. A continuación, se detallan una serie de métricas que sirven como evaluación de los resultados obtenidos, para comprobar el éxito de conseguir los objetivos propuestos.

6.1. RESULTADOS IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA

Mediante la implantación del sistema desarrollado se pretende poder conseguir una reducción de los costes fijos de la empresa y mejora del rendimiento de la eficiencia de la empresa a la hora de transportar las cargas en sus instalaciones. Estos objetivos se evalúan a través de una serie de métricas de seguimiento del rendimiento, y en el caso de analizar la inversión y comprobar si resulta apropiada y rentable, se efectúa un cálculo del retorno de la inversión y *payback*.

6.2. MÉTRICAS DE SEGUIMIENTO (KPIs)

A través de la cuantificación de una serie de elementos denominados métricas, se pretende realizar el seguimiento anteriormente mencionado, para evaluar la inversión.

Estos elementos, a través de los que se cuantifica el éxito de la inversión, son los siguientes:

- Reducción de costos operativos. Esta métrica resulta una de las más importantes en este caso específico, puesto que el objetivo principal de la empresa para realizar este plan de implantación de vehículo es el ahorro en costes de mano de obra. Se prevé que la reducción de la plantilla operaria de almacén sea del 75%, es decir que se pase de una cantidad de 20 operarios por turno a tan sólo 5.
- Impacto en el tiempo de ciclo. Mediante la implantación de estos sistemas se espera percibir unas reducciones notables en el tiempo de ciclo de los pedidos, desde que entra en sistema la orden de compra hasta que la mercancía se expide a cliente. Tan

solo con el ahorro de tiempo que supone que el número de operarios que se reduce hagan las pausas de descanso que les corresponde, así como los tiempos de cambio de turno, se espera que los pedidos se sirvan un 10% más rápido y que se pase de un tiempo de entrega de 20 días a un tiempo de entre 16 y 18 días en periodos de máxima actividad, permitiendo un margen de mejora de tiempos razonable en los momentos de actividad valle.

- Productividad del AGV. Asociado con el punto anterior, el aumento de productividad de un robot frente a un operario humano se espera que tenga una relación directa con el impacto en el tiempo de ciclo, por lo tanto, se toma como métrica a estudiar para comprobarlo.
- Tasa de errores y precisión. Ya que todo el proceso relacionado con el almacenaje de los palets en las estanterías y su posterior picking para preparación de pedidos, se espera una mejora en la tasa de errores y precisión operativa, ya que se reducen los riesgos de equivocaciones en la selección y descarga de palets, así como evitar la pérdida de material y los retrasos que ello suponga.
- Retorno de la inversión. Puesto que se trata de una métrica tan crucial para la evaluación del proyecto, se le dedica el párrafo a continuación.

6.3. RETORNO DE LA INVERSIÓN

Se trata de un indicador financiero que cuantifica la rentabilidad que aporta una inversión, mediante la comparación de los beneficios netos obtenidos por la empresa respecto del coste de la inversión. Evalúa su eficiencia.

Para calcular el ROI de los AGV que se quieren implementar, se cuenta con los siguientes datos proporcionados por el departamento de finanzas de la empresa:

- Inversión inicial: 1 millón de € (2 AMR x 500.000€).
- Beneficios totales anuales BTA: 4 millones de €.
- Costes operativos anuales: 2,5 millones de €

Estos costes operativos suponen tanto los gastos de personal como los gastos de suministros de la empresa. Mediante estos datos se obtiene lo siguiente:

$$\text{Beneficio neto} = 4M - 2.5M = 1.500.000\text{€}$$

En cuanto a cantidad, el ROI, será:

$$ROI = 1.5M - 1M = 500.000\text{€}$$

Y respecto a valor porcentual:

$$ROI = \left(\frac{1.5M}{1M} \right) * 100 = 150\%$$

Por lo tanto, el periodo de *payback* se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Payback} = \left(\frac{1M}{1.5M} \right) = 0,67 \text{ años}$$

Lo cual significa que, en 0,67 años, que corresponde con una cantidad de aproximadamente 8 meses, la costosa inversión resulta más que justificada porque el retorno de la inversión tan alto (150%) junto con el *payback* de 8 meses implica que, en menos de un año, la inversión será rentable y estará suponiendo ya beneficios.

Para hacer aún más rentable la inversión, el departamento financiero podría aconsejar a la junta directiva que n ves de descapitalizar su patrimonio y comprar con sus fondos propios los robots, la empresa debería considerar realizar un renting de los AGVs. Esta estrategia resulta interesante ya que, al ser un elemento tecnológico de alta rotación, implica que lleva asociada una cierta tasa de obsolescencia y devaluación, por lo que finalizado el periodo de *renting* sería más sencillo renovarlo obteniendo un intercambio de AGVs, a la par que la empresa mantiene unos gastos de gestión favorables para sí misma y salvaguarda su *cash-flow*, garantizando una situación económica favorable para sí.

A pesar de ello, ya que la inversión resulta amortizada y rentabilizada en menos de un año, es decir a corto plazo, la utilización de un renting no le aporta grandes mejoras a la empresa, más allá de la protección del *cash-flow* y evitar hacer un desembolso inicial notable.

7. CONCLUSIONES

Mediante la realización de este trabajo de fin de grado se ha logrado estudiar, planificar, implementar y analizar la implementación de un robot logístico en un almacén.

Partiendo de una situación donde los costes operativos suponen un problema financiero para la empresa, la implementación de este sistema comprueba, como se muestra en el apartado de los resultados, que reduce los costes de mano de obra en hasta un 75% respecto a los operarios que trabajen en el almacén.

Inicialmente se plantea el proyecto para la incorporación de un AGV de transporte de las mercancías, pero dadas las características de la empresa para la que se desarrolla el proyecto, carece de sentido realizar una inversión costosa mediante la cual no se conseguirá una reducción de los costes operativos, y no resulta coherente emplear este tipo de robot de manera colaborativa con operarios en este almacén. Así, se reevalúan los antecedentes estudiados con el fin de revisar los productos disponibles en el mercado, dando con el AGV capaz de colocar y extraer los elementos de las estanterías de manera autónoma.

De este modo, mediante el uso de dos robots AGV Balyo Reachy se consigue satisfacer también el segundo objetivo: la optimización de tiempos de ciclo y servicio de los pedidos, consiguiendo que dicho tiempo de ciclo se reduzca en un 10% en los primeros pasos de la implementación, contando solamente para este cálculo con la reducción de los tiempos de inactividad por pausas y cambios de turno de los operarios.

El cambio de perspectiva supone un problema temporal, que se acentúa conforme se lleva a cabo la implementación del sistema puesto que quizá se debería haber contemplado un mayor tiempo de adaptación de cara al personal, puesto que la reducción drástica de la plantilla es susceptible de provocar graves disconformidades en el personal.

Finalmente se toman una serie de métricas como indicadores de la evolución de la implantación del plan, las cuales servirán en la última fase para concluir el éxito, o no, del proyecto. Esas métricas corresponden con la reducción de costes operativos e impacto en el tiempo de ciclo, ambas de las cuales se estima que serán un éxito al llevar a cabo este plan. Las otras métricas que se consideran son la productividad del AGV, tasa de errores y precisión en los pedidos y, finalmente, el retorno de la inversión. Las métricas 3 y 4 pueden pasar más desapercibidas, pero el ROI proporciona una conclusión muy clara: resulta una inversión altamente

rentable, puesto que el ROI calculado es del 150% con un *payback* de unos 8 meses, así que se comprueba que el diseño y puesta en marcha del plan desarrollado en este trabajo resultan tanto viables como eficientes.

Se podrían considerar líneas futuras de este proyecto, una vez finalizada la fase de análisis y tras la recuperación de la inversión, el estudio de viabilidad de la automatización completa del almacén, puesto que si se obtienen resultados tan satisfactorios mediante la implantación de los AGVs el siguiente paso podría recaer en la inversión en modificación de infraestructura.

8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de este Trabajo Fin de Grado están alineados con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y metas, de la Agenda 2030:

- **Objetivo 8** - Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos
- **Meta 8.2:** Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra.
- **Meta 8.3:** Promover políticas orientadas al desarrollo que apoyen las actividades productivas, la creación de puestos de trabajo decentes, el emprendimiento, la creatividad y la innovación, y fomentar la formalización y el crecimiento de las microempresas y las pequeñas y medianas empresas, incluso mediante el acceso a servicios financieros.
- **Meta 8.4:** Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados.
- **Objetivo 9** - Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.
- **Meta 9.1:** Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos.



- Meta 9.5: Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo.
- Objetivo 12 - Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles
- Meta 12.5: De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.
- Meta 12.6: Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes.



9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Yan, L. Yang, y Y. Li, «Autonomous Path Planning of AGV Obstacle Avoidance Based on Improved Q-learning», en 2023 6th International Conference on Computer Network, Electronic and Automation (ICCNEA), Xi'an, China: IEEE, sep. 2023, pp. 290-295. doi: 10.1109/ICCNEA60107.2023.00069.
- [2] Liu Sai-nan, «Optimization problem for AGV in automated warehouse system», en 2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, Beijing: IEEE, oct. 2008, pp. 1640-1642. doi: 10.1109/SOLI.2008.4682790.
- [3] C. Zhai, X. yuan, Y. Huang, L. Zhou, S. Yuan, y Q. Xu, «The Application of Robot Technology in the Field of Material Support», en 2023 6th International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering (RCAE), Suzhou, China: IEEE, nov. 2023, pp. 275-279. doi: 10.1109/RCAE59706.2023.10398814.
- [4] W. Chun-Fu, W. Xiao-Long, C. Qing-Xie, C. Xiao-Wei, y L. Guo-Dong, «Research on visual navigation algorithm of AGV used in the small agile warehouse», en 2017 Chinese Automation Congress (CAC), Jinan: IEEE, oct. 2017, pp. 217-222. doi: 10.1109/CAC.2017.8242766.
- [5] «Robots MiR | Robots móviles autónomos». Accedido: 4 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://mobile-industrial-robots.com/es/productos/robots>
- [6] «MiR600 | Robots móviles autónomos». Accedido: 4 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://mobile-industrial-robots.com/es/productos/robots/mir600>
- [7] «Automated Guided Vehicles: A Practical Guide». Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.agvnetwork.com/what-is-automated-guided-vehicle-agv-robot>
- [8] «AMR Robot Applications». Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.agvnetwork.com/top-amr-applications>
- [9] «Robots Móviles Autónomos (AMR) | Robot autónomo». Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://industrial.omron.es/es/products/autonomous-mobile-robot>

- [10] «MiR1350 | Robots móviles autónomos». Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://mobile-industrial-robots.com/es/productos/robots/mir1350>
- [11] «Magnetic Guide Sensors». Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.roboteq.com/all-products/magnetic-guide-sensors>
- [12] «RB-THERON: Robot for indoor logistics | Robotnik®». Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://robotnik.eu/products/mobile-robots/rb-theron/>
- [13] «Vehículo de guiado automático WEASEL® | SSI SCHAEFER». Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ssi-schaefer.com/es-es/productos/transporte/vehiculos-de-guiado-automatico/automated-guided-vehicle-weasel--1214738>
- [14] «UWANT». Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.agvnetwork.com/agv-producers/uwant>
- [15] «MiR1200 Pallet Jack by Mobile Industrial Robots». Accedido: 18 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.lotsofbots.com/en/mobile-industrial-robots/mir1200-pallet-jack-1/>
- [16] «CX 20 - STILL - Catálogo PDF | Documentación técnica | Brochure». Accedido: 19 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pdf.directindustry.es/pdf/still/cx-20/14182-607755.html>
- [17] BALYO, «REACHY, Robotic Reach Forklift, AGV/AMR | BALYO». Accedido: 19 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.balyo.com/agv-reach-trucks/reachy>
- [18] «ERC 216i». Accedido: 19 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.jungheinrich.es/productos/carretillas-de-alquiler/cami%C3%B3n/rtd/erc-216i-1046622>
- [19] «Seegrid Lift CR1 AMR – Seegrid | Autonomy That Works With You». Accedido: 19 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://seegrid.com/autonomous-mobile-robots/lift-cr1-amr/>
- [20] Mecalux, «Tipos de estanterías». Accedido: 19 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mecalux.es/estanterias-metalicas-para-todos-los-publicos>
- [21] «Carretilla elevadora: definición, tipología y funcionamiento». Accedido: 19 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog.toyota-forklifts.es/carretilla-elevadora-definicion-tipos>



[22] «Principales diferencias entre palets europeo y americano». Accedido: 19 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://alcopalet.com/palets-europeo-y-americano/>

Relación de documentos

(X) Memoria	54	páginas
(_) Anexos	3	páginas

La Almunia, a 20 de 11 de 2024

Firmado: Marta Martínez Pérez