UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

MÁSTER EN LOGÍSTICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

REDISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y SU ALMACÉN EN BASE A LA NECESIDAD DERIVADA DE UNA ESTRATEGIA DE MINIMIZACIÓN DE STOCKS

Alumno: TERESA VALLINA TRUEBA
Director: D./GERARDO SARABIA MONTALVO

JUNIO 2024

TÍTULO: Rediseño de una planta de producción y su almacén en base a la necesidad derivada de una estrategia de minimización de stocks.

AUTOR: Teresa Vallina Trueba

DIRECTOR DEL PROYECTO: Gerardo Sarabia Montalvo

FECHA: 4 de octubre de 2024

TÍTULO	Rediseño de una planta de producción y su almacén en base a la necesidad derivada de una estrategia de minimización de stocks		
AUTOR	Teresa Vallina Trueba		
DIRECTOR	Gerardo Sarabia Montalvo		
TITULACIÓN	Máster en logística	**FECHA**	04/10/2024

PALABRAS CLAVE

Logística, minimización de stocks, automatización, tecnología AGV, sostenibilidad, gestión de inventarios.

RESUMEN

Este trabajo aborda la reingeniería del almacén del producto terminado en una empresa del sector de fabricación de neumáticos, con el objetivo de implementar una estrategia de minimización de stocks. El rediseño se aborda con una visión integral, teniendo en cuenta tanto el mercado como el posicionamiento estratégico de la compañía, asegurando coherencia con toda la cadena de suministro de Neumáticos S.L. Se dedica especial atención a describir la industria, el producto y su posicionamiento de mercado. La optimización de inventarios busca mejorar la eficiencia operativa, optimizar los procesos de distribución y reducir los costes. El uso de tecnologías avanzadas, como los vehículos guiados automáticamente (AGVS) y sistemas de radiofrecuencia, automatizan el almacén, mejoran la precisión en la gestión de inventarios y fomentan la sostenibilidad ambiental al reducir el consumo energético y las emisiones contaminantes, cumpliendo con normativas ambientales.
Los resultados obtenidos destacan mejoras significativas en la eficiencia operativa. El método ABC fue clave para clasificar los neumáticos según su rotación, optimizando el espacio del almacén y facilitando el acceso a productos de alta demanda. El diseño del almacén de 10.000 m_2, con estanterías de hasta 15 m de altura y pasillos estrechos, maximiza el espacio vertical y mejora el flujo de trabajo. Se necesitaron un total de 3 AGVs para gestionar las operaciones, optimizando el proceso.
Este rediseño ha resultado clave para alcanzar una operación más eficiente, adaptable y sostenible capaz de responder rápidamente a las demandas del mercado.

TITLE	Redesign of a production plant and its warehouse based con the need derived from a stock minimization strategy		
AUTHOR	Teresa Vallina Trueba		
DIRECTOR	Gerardo Sarabia Montalvo		
DEGREE	Master in logistics	**DATE**	04/10/2024

KEYWORDS

Logistics, inventory minimization, AGV technology, sustainability, inventory management.

ABSTRACT

This study deals with the reengineering of the finished product warehouse in a company of the tire manufacturing sector, with the objective of implementing a stock minimization strategy. The redesign is approached with an integral vision, taking into account both the market and the strategic positioning of the company, ensuring consistency with the entire supply chain of Neumáticos S.L. Special attention is devoted to describe the industry, the product and its market positioning. Inventory optimization seeks to improve operational efficiency, optimize distribution processes and reduce costs. The use of advanced technologies, such as automated guided vehicles (AGVS) and radiofrequency systems, automate the warehouse, improve inventory management accuracy and promote environmental sustainability by reducing energy consumption and polluting emissions, while complying with environmental regulations.
The results obtained highlight significant improvements in operational efficiency. The ABC method was key to classifying tires according to rotation, optimizing warehouse space and facilitating access to high-demand products. The design of the 10,000 m2 warehouse, with racking up to 15 m high and narrow aisles, maximizes vertical space and improves workflow. A total of 3 AGVs were needed to manage operations, optimizing the process.
This redesign has been key to achieving a more efficient, adaptable and sustainable operation capable of responding quickly to market demand.

CONTENIDO

1. Introducción. ... 8
1.1 Datos sobre la producción mundial de neumáticos. ... 8
1.2 Datos sobre el consumo de neumáticos en España. ... 9
1.3 Importancia de los neumáticos. ... 10
1.4 Innovaciones en la industria de neumáticos en España. ... 11
1.5 Justificación del diseño de la planta y su almacén. ... 11
1.6 Revisión de estudios previos en la minimización de stocks y rediseño de almacenes. ... 12
1.7 Objetivos. ... 14
2. Situación de la empresa. ... 15
2.1 Descripción de la empresa. ... 15
2.2 Organización. ... 16
2.3 Etapas de la empresa. ... 17
2.3.1 Recepción de materias primas. ... 18
2.3.2 Principales materias primas. ... 18
2.3.3 Mezclado y preparación de materias primas. ... 19
2.3.4 Laboratorio. ... 20
2.3.5 Fabricación de componentes. ... 21
2.3.6 Vulcanización. ... 22
2.3.7 Inspección final. ... 23
2.4 Productos finales. ... 23
2.5 Gestión de existencias dentro de un almacén. ... 24
2.6 Proceso de gestión de cubiertas actual. ... 27
3. Resultados e interpretación. ... 31
3.1 Cálculo del método ABC. ... 31
3.2 Gestión de propuestas para futuras implementaciones. ... 32
3.2.1 Diseño del almacén. ... 33
3.2.2 Integración tecnológica en cada fase. ... 36
3.3 Ventajas del nuevo almacén. ... 37
3.4 Inconvenientes del uso de AGVs. ... 38
4. Evaluación de costes y beneficios en la implementación de un almacén automatizado. ... 40
5. Impacto ambiental de los nuevos sistemas de automatización. ... 43
6. Conclusiones. ... 45
7. Bibliografía. ... 47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis visual de la cuota de mercado. 9
Figura 2. Mapa del caso de estudio(Cantabria, España) 15
Figura 3. Esquema de la cultura organizacional de la empresa 16
Figura 4. Estructura jerárquica y funcional de la empresa 17
Figura 5. Diagrama del proceso completo**.** 23
Figura 6. Flujo de una empresa de neumáticos. 27
Figura 7. Distribución del almacén 28
Figura 8. Proceso de gestión de una cubierta en un almacén 28
Figura 9. Cinta transportadora de cubiertas 29
Figura 10. Ejemplos de un almacén automático. 33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Publicaciones en el sector de la automatización. 13
Tabla 2. Análisis de costos y ahorros para la automatización del almacén..... 42

1. Introducción.

1.1 Datos sobre la producción mundial de neumáticos.

La RAE define a un neumático como “Pieza de caucho con cámara de aire o sin ella, que se monta sobre la llanta de una rueda” (Real Academia Española, 2023).

La producción mundial de neumáticos es un componente esencial de la industria automotriz y de transporte, que desempeña un papel crucial en la movilidad y la seguridad vial a nivel global. Estamos operando en un mercado dinámico y en constante expansión, con proyecciones que indican un aumento significativo en su valor para el año 2026 (Intelligence, 2018).

El aumento proyectado se justifica por varios factores clave:

- Una creciente demanda de comodidad por parte de los consumidores.
- Un creciente énfasis en la eficiencia del combustible.
- Costos elevados asociados al mantenimiento o reemplazo de neumáticos convencionales.
- La adopción de tecnologías de fabricación avanzadas por parte de los fabricantes de equipos originales (OEM) para ofrecer productos diferenciados enfocados en la sostenibilidad, durabilidad y accesibilidad.
- Elevado impacto medioambiental en los procesos de fabricación y reciclaje.

Según datos actualizados proporcionados por organizaciones como la Asociación de Fabricantes de Neumáticos (Tire Manufacturers Association) y la Organización Internacional de Fabricantes de Neumáticos (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers), la producción mundial de neumáticos alcanza aproximadamente unos 2.8 billones de unidades al año. Este número puede variar ligeramente de un año a otro debido a factores económicos, climáticos y regulatorios.

China es uno de los países líderes en la producción mundial de neumáticos, representando alrededor del 30-35% de la producción total. La industria de neumáticos en China se ha expandido rápidamente en las últimas décadas, respaldada por una mano de obra abundante y relativamente barata, así como por una infraestructura industrial bien desarrollada. Esto ha permitido que numerosas empresas chinas se conviertan en actores importantes en el mercado global de neumáticos (El confidencial).

Además de China, otros países clave en la producción de neumáticos incluyen Estados Unidos, Japón, Alemania, India y Corea del Sur. Estas naciones albergan algunas de las principales compañías de neumáticos del mundo, que compiten tanto en sus mercados internos como en los mercados internacionales (Datasur).

En el ámbito de la participación en el mercado en dicha industria se destacan las marcas más valiosas en el sector de neumáticos que incluyen a Michelin, Bridgestone, Continental, Dunlop, Goodyear y Pirelli (Haigh,2023). No obstante, es importante destacar que el mercado de neumáticos abarca una amplia gama de fabricantes, además de estas marcas prominentes, cada uno contribuyendo de manera significativa a la dinámica global del mercado. En la **figura 1** se presenta un análisis visual de la cuota de mercado y la posición global de estas marcas líderes en la industria de

neumáticos, proporcionando una representación gráfica de su alcance y relevancia en el mercado (Brian,Gamier & Co ests).

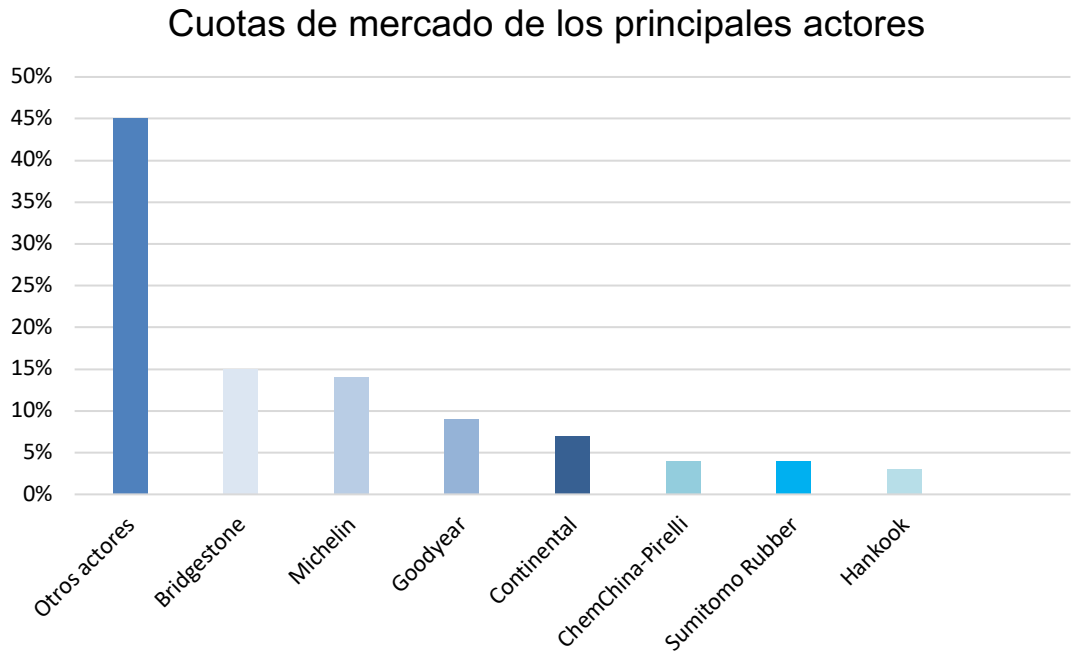

Figura 1. Análisis visual de la cuota de mercado.

La industria de los neumáticos está experimentando una rápida evolución tecnológica para abordar los desafíos de eficiencia, seguridad y sostenibilidad. Los avances en materiales compuestos, diseño de banda de rodadura y tecnología de fabricación están mejorando la durabilidad, el rendimiento y la ecoeficiencia de los neumáticos (Tire Technology international). Por ejemplo, se están desarrollando neumáticos con compuestos de caucho de baja resistencia a la rodadura para mejorar la eficiencia del combustible, así como neumáticos inteligentes con sensores integrados para monitorear la presión y la temperatura en tiempo real (Green Car Congress).

En cuanto a la sostenibilidad, la industria de los neumáticos está trabajando para reducir su huella ambiental mediante la adopción de prácticas de fabricación más eficientes y el fomento del reciclaje de neumáticos usados. Se están explorando tecnologías innovadoras, como el reciclaje de caucho y el desarrollo de neumáticos sin aire, que tienen el potencial de reducir el desperdicio de neumáticos y promover una economía circular más sostenible (EPA).

1.2 Datos sobre el consumo de neumáticos en España.

El consumo de neumáticos en España sigue siendo un indicador fundamental de la actividad económica y la movilidad en el país. Según la Asociación Nacional de Distribuidores e Importadores de Neumáticos (ADINE), el consumo anual de neumáticos en España se sitúa en torno a los 20 millones de unidades, una cifra que refleja la constante demanda de este componente esencial para el mantenimiento y la seguridad de los vehículos. Este número, aunque significativo, está sujeto a variaciones anuales influenciadas por diversos factores, como las condiciones económicas, las tendencias del mercado automotriz y las condiciones climáticas.

En términos de preferencias de los consumidores, se observa una tendencia hacia la elección de neumáticos de mayor calidad y tecnología avanzada, que ofrecen un mejor rendimiento y una mayor durabilidad. Esto se refleja en la creciente demanda de neumáticos con características específicas, como una mayor resistencia al desgaste, mejor agarre en superficies mojadas o una menor resistencia a la rodadura para mejorar la eficiencia del combustible (Consumer Reports). Además, la conciencia sobre la seguridad vial y el impacto ambiental está influyendo en las decisiones de compra, con un aumento en la demanda de neumáticos ecológicos y de bajo consumo de combustible (EPA).

El mercado de neumáticos en España es diverso y está compuesto por una amplia red de distribuidores, talleres mecánicos, tiendas especializadas y cadenas de venta al por menor. Las principales marcas de neumáticos tienen una presencia sólida en el mercado español y compiten por una participación de mercado mediante estrategias de marketing, promoción y desarrollo de productos (ADINE).

En cuanto a la gestión ambiental, España cuenta con regulaciones estrictas en cuanto a la gestión de neumáticos usados. Los programas de recogida y reciclaje de neumáticos fuera de uso (NFU) son gestionados por entidades autorizadas, que se encargan de su adecuado tratamiento y valorización, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y a la economía circular.

1.3 Importancia de los neumáticos.

Los neumáticos son pilares esenciales que sostienen la movilidad moderna, desempeñando un papel crítico en la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad tanto en el ámbito individual como en el industrial. En el contexto de la seguridad vial, estos componentes son el vínculo fundamental entre un vehículo y la carretera, siendo responsables de proporcionar la tracción y la estabilidad necesarias para un manejo seguro en diversas condiciones climáticas y situaciones de la carretera. Su calidad y estado influyen directamente en la capacidad de frenado, la maniobrabilidad y la resistencia al aquaplaning, lo que puede marcar la diferencia entre un viaje seguro y un accidente potencialmente catastrófico (NHTSA, 2024)

Además de su impacto en la seguridad vial, los neumáticos también desempeñan un papel crucial en la eficiencia energética de los vehículos. Al reducir la resistencia a la rodadura, los neumáticos bien diseñados contribuyen a minimizar la cantidad de energía requerida para mover un vehículo, lo que se traduce en un menor consumo de combustible y, por ende, en menores emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos (Michelin, 2023). Esta mejora en la eficiencia no solo beneficia al medio ambiente al reducir la huella de carbono de los vehículos, sino que también supone un ahorro económico significativo para los propietarios de vehículos y las empresas de transporte.

Sin embargo, la importancia de los neumáticos va más allá de su impacto en la seguridad vial y la eficiencia energética. Estos componentes son fundamentales para la movilidad y el transporte en todas sus formas, desde el transporte personal hasta el comercial y el industrial. Ya sea en automóviles, camiones, aviones o maquinaria pesada, los neumáticos permiten la movilización de personas y mercancías a nivel local, nacional e internacional, facilitando el comercio, el turismo y el acceso a servicios esenciales en todo el mundo (Smith, 2022).

Además, la industria de los neumáticos es un motor clave de la innovación tecnológica y el desarrollo sostenible. La continua investigación y desarrollo en este campo impulsan la introducción de nuevos materiales, diseños y tecnologías que mejoran constantemente el rendimiento, la durabilidad y la seguridad de los neumáticos. Asimismo, el enfoque creciente en la sostenibilidad ha llevado a la adopción de prácticas y tecnologías más ecológicas, como el uso de materiales reciclados y la reducción del consumo de recursos naturales en el proceso de fabricación (ETRMA, 2023).

1.4 Innovaciones en la industria de neumáticos en España.

La industria de neumáticos en España está experimentando una etapa de transformación marcada por innovaciones que buscan mejorar el rendimiento, la seguridad y la sostenibilidad de los neumáticos. Una de las áreas de innovación más destacadas es el desarrollo de neumáticos inteligentes. Estos neumáticos están equipados con sensores avanzados que monitorean constantemente parámetros como la presión, la temperatura y la profundidad de la banda de rodadura. Esta tecnología permite una supervisión en tiempo real del estado de los neumáticos, lo que ayuda a prevenir accidentes debido a neumáticos desinflados o dañados, además de optimizar el rendimiento y la vida útil de los mismos (Bridgestone Hispania, 2023).

En el ámbito de la sostenibilidad, las empresas españolas están liderando el camino en el desarrollo de neumáticos ecoeficientes. Estos neumáticos están diseñados para reducir la resistencia a la rodadura, lo que se traduce en un menor consumo de combustible y, por ende, en una menor emisión de gases de efecto invernadero. Además, algunas empresas están explorando el uso de materiales reciclados en la fabricación de neumáticos, contribuyendo así a la reducción de residuos y al fomento de la economía circular (Michelin, 2023).

Otra innovación importante es la introducción de neumáticos Run-Flat. Estos neumáticos están diseñados para permitir que un vehículo continúe su marcha de manera segura después de sufrir un pinchazo, lo que proporciona una mayor seguridad y tranquilidad a los conductores, especialmente en carreteras donde detenerse puede ser peligroso o inconveniente (Continental España, 2023).

Además, se están desarrollando neumáticos adaptativos que pueden ajustarse automáticamente a diferentes condiciones climáticas y de la carretera, como lluvia, nieve o calor extremo. Estos neumáticos ofrecen un rendimiento óptimo y una mayor seguridad en una variedad de condiciones de conducción, lo que es especialmente relevante en un país como España, donde las condiciones climáticas pueden variar significativamente de una región a otra y en diferentes épocas del año (Michelin,2023).

Las innovaciones mencionadas reflejan el compromiso de las empresas españolas con la excelencia en la ingeniería y su contribución a un futuro más seguro y sostenible en el sector del transporte.

1.5 Justificación del diseño de la planta y su almacén.

Después de un periodo de observación y análisis exhaustivo dentro de una empresa líder en el ámbito industrial, específicamente en el sector de fabricación de neumáticos, se ha identificado una necesidad imperiosa de optimizar y mejorar el rendimiento de su

planta de producción y su sistema de gestión de almacenes. Este reconocimiento surge ante la detección de ciertos comportamientos ineficientes que han estado limitando el pleno aprovechamiento de la capacidad y recursos disponibles en la planta.

En respuesta a estos desafíos, se ha iniciado este proyecto de fin de máster con el objetivo principal de diseñar una planta de producción y su almacén en base a la necesidad derivada de una estrategia de minimización de stocks. Esta estrategia no solo busca reducir los niveles de inventario, sino también mejorar la eficiencia operativa, optimizar los procesos de producción y distribución, y aumentar la competitividad de la empresa en el mercado.

El enfoque del proyecto se centra en el desarrollo de un proceso automatizado que aborde de manera sistemática las ineficiencias identificadas en el sistema de gestión de neumáticos. Este proceso se diseñará teniendo en cuenta las mejores prácticas de la industria, así como las necesidades específicas y los recursos disponibles en la empresa.

El presente documento explicará el desarrollo llevado a cabo y el funcionamiento del programa, que se ha elaborado para obtener dicho proceso automático a implementar al sistema actual.

1.6 Revisión de estudios previos en la minimización de stocks y rediseño de almacenes.

Se encuentran numerosas publicaciones sobre la optimización de plantas de producción, gestión de inventarios y automatización en almacenes. Estas referencias sirven como base teórica y práctica para el desarrollo del proyecto. En la **Tabla 1** se citan algunos de los trabajos publicados:

***Tabla 1**. Publicaciones en el sector de la automatización.*

Titulo	Autores	Año	Tipo de estudio
Warehouse Automation: Energy Efficiency and sustainability in modern supply chains	García P., López J., Serrano R.	2021	Estudio sobre la automatización de almacenes
Dirección de operaciones: Decisiones tácticas y estratégicas	Carballosa A.N.	2014	Libro sobre modelos de gestión de inventarios
Neumáticos en España	Asociación ADINE.	2023	Informe sobre el mercado de neumáticos en España
AGV y la industria 4.0	Mecalux.	2023	Estudio técnico sobre automatización en almacenes
Reciclaje y sostenibilidad en la industria de neumáticos	Singh et al.	2020	Estudio sobre sostenibilidad en el reciclaje de neumáticos

A continuación, se explica de forma más detallada en que consiste cada una de las publicaciones que aparecen en la **Tabla 1**.

- García P., López J., Serrano R. Este estudio se centra en cómo la automatización en almacenes, utilizando tecnologías como AGVs y sistemas de radiofrecuencia, pueden mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad en las cadenas de suministro. Los autores destacan que la automatización puede reducir el consumo de energía en hasta un 30% y optimizar el uso de los recursos, mejorando la sostenibilidad ambiental. Proporciona una visión clara de las implicaciones económicas y ecológicas de la automatización en entornos logísticos.
- Carballosa A.N. El libro ofrece una descripción detallada de las decisiones operativas que deben tomarse en el ámbito de la gestión de inventarios y almacenes. Carballosa examina modelas como la planificación requerimientos de materiales (MRP) y el modelo de lote económico para manejar inventarios de forma eficaz. El enfoque del libro está en como las decisiones tácticas y estratégicas pueden impactar en la eficiencia operativa de una empresa.
- Asociación ADINE. Este informe detalla el estado del mercado de neumáticos en España. Proporciona estadísticas actualizadas sobre el consumo de neumáticos en el país y analiza las tendencias que están influyendo en el mercado, como la creciente demanda de neumáticos ecológicos y de alto rendimiento. Además, incluye un análisis de las principales marcas y actores en el sector español.
- Mecalux. Este estudio técnico se centra en el papel de los vehículos guiados (AGVs) y en la transformación de los almacenes bajo el paradigma de la industria 4.0. Se explica como los AGVs pueden mejorar la eficiencia en el transporte interno de mercancías y optimizar la disposición de inventarios. También detalla

las tecnologías clase utilizadas por estos vehículos guiados y su impacto en la logística moderna, destacando las ventajas competitivas que ofrecen.

- Singh et al. Se abordan los desafíos medioambientales en la fabricación y reciclaje de neumáticos. Singh y su equipo examinan diversas iniciativas para fomentar una economía circular en el sector, como el reciclaje de caucho y la reutilización de neumáticos usados. Además, se exploran nuevas tecnologías para la fabricación de neumáticos sostenibles, reduciendo el impacto ambiental mediante prácticas más eficientes y ecológicas.

1.7 Objetivos.

El principal objetivo de este trabajo es diseñar una planta de producción y un almacén en base a una estrategia de minimización de stocks para una empresa del sector de la fabricación de neumáticos. Este objetivo central busca optimizar la eficiencia operativa de la empresa al reducir los niveles de inventario, minimizando así los costos asociados con el almacenamiento y liberando recursos para otras áreas críticas del negocio. Además, se pretende mejorar la sincronización entre la producción y la demanda del mercado, asegurando que la empresa pueda satisfacer las necesidades del cliente de manera oportuna y efectiva.

Se han planteado y desarrollado las siguientes acciones específicas para lograr el objetivo principal:

- Conocer el mercado de neumáticos existente.
- Entender el proceso de fabricación de un neumático.
- Conocer y analizar el funcionamiento actual de la planta de producción y el almacén de la empresa.
- Investigar las mejores prácticas y estrategias utilizadas en la industria de fabricación de neumáticos para minimizar los niveles de inventario y optimizar la eficiencia operativa.
- Diseñar un proceso de producción más eficiente que permita una mejor utilización de los recursos y una reducción de los tiempos de producción, contribuyendo así a la minimización de stocks.
- Diseñar un layout de almacén que facilite un flujo de materiales más eficiente y una gestión más efectiva del inventario, reduciendo el espacio ocupado y mejorando la accesibilidad a los productos.
- Evaluar el impacto de las medidas implementadas en términos de eficiencia operativa, costos de almacenamiento, satisfacción del cliente y competitividad en el mercado.
- Proponer recomendaciones para la mejora continua del sistema de gestión de stocks y procesos operativos, asegurando que la empresa pueda adaptarse y mantener su competitividad en un entorno empresarial dinámico y cambiante.

2. Situación de la empresa.

En este capítulo, se llevará a cabo la recolección de información sobre la empresa con el fin de realizar un diagnóstico y comprender la situación actual. Se examinarán las causas principales de los desafíos identificados y se formulará una hipótesis inicial basada en la información recopilada y en casos de éxito previos.

2.1 Descripción de la empresa.

Neumáticos S.L. destaca como una corporación líder en el ámbito de la fabricación y distribución de neumáticos y productos relacionados. Fundada en 1931 en España, la compañía ha evolucionado para convertirse en una fuerza impulsora en la industria automotriz y de movilidad, ofreciendo soluciones avanzadas y tecnológicamente innovadoras.
Neumáticos S.L opera varias plantas de producción en todo el mundo, cada una dedicada a fabricar una amplia gama de productos y atender a diferentes regiones y mercados. Sin embargo, este trabajo, se centrará específicamente en la planta de Neumáticos S.L ubicada en Puente San Miguel (Cantabria, España) (**Figura 2**).

Figura 2. *Mapa del caso de estudio (Cantabria, España).*

Esta instalación en particular, es una de las plantas clave dentro de la red global de producción, ya que desempeña un papel estratégico en la estrategia de producción de la empresa, particularmente en lo que respecta al suministro de neumáticos de alta calidad para el mercado europeo. Por lo tanto, se puede analizar en detalle como Neumáticos S.L aborda los desafíos específicos del mercado y como buscar mantener su posición en la fabricación de neumáticos en esta región.

El núcleo de la actividad de Neumáticos S.L. se encuentra en el diseño, fabricación y distribución de neumáticos para dos líneas de producción dedicadas a la fabricación de neumáticos TBR para camiones y autobuses, así como otra línea dedicada a la

fabricación de neumáticos AGR para maquinaria agrícola. Estas líneas representan el compromiso de Neumáticos S.L con la producción de neumáticos de alta calidad para una variedad de aplicaciones y sectores industriales. Su presencia abarca prácticamente todos los rincones del mundo, consolidándose como un referente en el suministro de productos esenciales para la movilidad global.

La planta de Neumáticos S.L opera en un mercado altamente competitivo y dinámico, donde se enfrenta a una serie de competidores directos e indirectos a nivel nacional e internacional. Dentro de este contexto, la empresa compite con lideres de la industria, quiénes también buscan destacarse en términos de calidad del producto, innovación tecnológica, diversidad de la gama de productos y compromiso con la sostenibilidad y responsabilidad social corporativa. Esta competencia se extiende a varios frentes, desde la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías hasta la implementación de prácticas de fabricación eficientes y respetuosas con el medio ambiente. Neumáticos S.L, en su constante búsqueda de excelencia, debe mantenerse al tanto de las últimas tendencias y avances en la industria para garantizar que sus productos sigan siendo competitivos y relevantes en el mercado.

2.2 Organización.

La planta de Puente de San Miguel cuenta con la presencia de aproximadamente 360 empleados reflejando un entorno de trabajo dinámico y colaborativo, donde cada individuo desempeña un papel vital en el funcionamiento diario de la planta. Desde la fabricación de neumáticos hasta la gestión de la cadena de suministro, el control de calidad y la administración general, estos empleados trabajan en conjunto para garantizar la eficiencia operativa, la calidad del producto y el cumplimiento de los estándares de seguridad y sostenibilidad.
La cultura organizacional de la empresa esta arraigada en varios principios fundamentales que guían el comportamiento, las interacciones y las decisiones en todos los niveles de la empresa.

***Figura 3**. Esquema de la cultura organizacional de la empresa.*

Esta cultura contribuye a crear un ambiente de trabajo positivo, donde los empleados se sienten motivados y comprometidos con los objetivos de la empresa. Además, esta cultura influye en la forma en que se relaciona con los clientes y en cómo la empresa se posiciona en el mercado, enfocándose en la excelencia en el servicio y la satisfacción del cliente como prioridad principal.

La organización de Neumáticos S.L se caracteriza por una estructura jerárquica y funcional diseñada para garantizar una gestión eficiente y efectiva de todas sus

operaciones. En la cúspide de esta estructura se encuentra la junta directiva, compuesta por un grupo reducido de ejecutivos y líderes de la empresa que supervisan y toman decisiones estratégicas clave. Esta junta está encabezada por el presidente y CEO, quien tiene la responsabilidad general de dirigir la empresa hacia el logro de sus objetivos comerciales y estratégicos.

Justo debajo de la junta directiva se encuentra la dirección ejecutiva, que está conformada por un equipo de altos ejecutivos y directivos líderes en diferentes áreas funcionales de la empresa, como finanzas, operaciones, ventas, marketing, recursos humanos y tecnología. Estos líderes trabajan en estrecha colaboración para implementar la visión y las estrategias de la empresa en todas las operaciones globales. Neumáticos S.L opera a través de dos divisiones de negocios, cada una centrada en áreas específicas de productos o servicios. Estas divisiones pueden incluir neumáticos para camiones, autobuses y para maquinaria agrícola. Dentro de cada línea de negocio, existen múltiples departamentos y funciones que desempeñan tareas específicas relacionadas con la producción, investigación y desarrollo, distribución, logística y otras áreas operativas.

Figura 4. *Estructura jerárquica y funcional de la empresa.*

2.3 Etapas de la empresa.

La fabricación de neumáticos es un proceso complejo que involucra varias etapas interconectadas, cada una fundamental para la creación de un producto final de alta calidad y rendimiento. Desde la recepción de materias primas hasta el envío de los neumáticos terminados, cada etapa del proceso juega un papel crucial en la creación de un producto que cumple con los estándares de seguridad, durabilidad y rendimiento exigidos por los consumidores y la industria automotriz.

A continuación, se detallan todas las etapas del proceso productivo de la empresa desde la recepción de las materias primas hasta su inspección final antes de ser almacenadas.

2.3.1 Recepción de materias primas.

La recepción de materias primas en la planta de Bridgestone es un paso critico en el proceso de fabricación de neumáticos, donde se asegura que los materiales necesarios para la producción estén disponibles en cantidad y calidad adecuadas. Este proceso generalmente involucra varias actividades, desde la coordinación con proveedores hasta la inspección de calidad de los materiales recibidos.

En primer lugar, Neumáticos S.L establece relaciones sólidas con proveedores confiables y calificados de materias primas. Estas relaciones de suministro pueden basarse en contratos a largo plazo, acuerdos de suministro estratégico y evaluaciones regulares de desempeño del proveedor para garantizar una cadena de suministro confiable y eficiente.

Una vez que se establecen los acuerdos de suministro, los proveedores envían las materias primas a las instalaciones de Neumáticos S.L a través de transporte terrestre por medio de camiones. Durante el proceso de transporte, se pueden tomar medidas especiales para garantizar la integridad y la calidad de los materiales, como el uso de contenedores sellados y el monitoreo de la temperatura y las condiciones ambientales.
Al llegar a las instalaciones de la empresa, las materias primas son descargadas y almacenadas en áreas designadas del almacén, dónde se lleva a cabo la recepción y el registro de entrada de los materiales. Esto incluye la verificación de la documentación de envío, la inspección visual de los materiales para detectar daños o defectos evidentes, y la toma de muestras para pruebas de calidad según sea necesario.

Una vez completada la recepción inicial, los materiales se someten a un proceso de inspección y pruebas de calidad más exhaustivo para garantizar que cumplan con los estándares establecidos por la empresa. Esto incluye pruebas de laboratorio para determinar la composición química y las propiedades físicas de los materiales, así como pruebas de rendimiento para evaluar su idoneidad para su uso en la fabricación de neumáticos.

Finalmente, después de que se completen todas las verificaciones y pruebas de calidad, las materias primas son aprobadas para su uso en la producción y se almacenan en áreas de almacenamiento específicas, listas para ser utilizadas en los procesos de fabricación según sea necesario.

2.3.2 Principales materias primas.

Para crear neumáticos de alta gama, se emplean materias primas de alta calidad que son el resultado de una extensa investigación y desarrollo (I+D) destinada a mejorar las características del producto final. Las principales materias primas utilizadas en el proceso productivo son las siguientes:

- Caucho natural: es una de las principales materias primas que forman la forma de los neumáticos. Tienen numerosas cualidades únicas en términos de elasticidad, agarre, resistencia e impermeabilidad, por lo general, los neumáticos de alta gama contienen una proporción mayor de este caucho natural.
  Este tipo de caucho se obtiene del látex de los árboles hevea. Neumáticos S.L posee plantaciones propias de árboles de hevea. Esta integración vertical le

permite asegurar un suministro constante y de alta calidad de caucho natural para todos sus neumáticos. Un mayor porcentaje de esta materia prima garantiza una mezcla de goma más homogénea, lo que se traduce en una mayor resistencia del producto final.

- Caucho sintético: es un material artificial derivado de los hidrocarburos, el cual ofrece una alternativa más económica al proceso de recolección de látex de árboles naturales. A diferencia del caucho natural, el sintético no es biodegradable ni reciclable, lo que lo hace menos sostenible desde una perspectiva ambiental. Sin embargo, se mezcla con el caucho natural para fortalecer la resistencia general de la goma.
  Dentro de los tipos de caucho sintético, destacan el estireno-butadieno, empleado para mejorar la resistencia al desgaste de las bandas de rodadura, y el butadieno, que se utiliza para incrementar la resistencia a los impactos en los flancos del neumático.
- Negro de carbono: representa aproximadamente el 30% de la composición del neumático. Este componente se origina a partir de la quema de hidrocarburos y proporciona al neumático su color negro. Es utilizado por sus múltiples cualidades, incluida la capacidad de fortalecer el caucho, garantizar una distribución homogénea de la temperatura y reducir la deformación del neumático.
- Agente protector: es un antioxidante que resguarda al neumático de la oxidación causada por el oxígeno del aire, previniendo el agrietamiento de los flancos debido a la exposición prolongada al sol o al paso del tiempo.
- Oxido de zinc: es una combinación de zinc y oxigeno que promueve el proceso de vulcanización y potencia la capacidad del neumático para resistir el aumento de la temperatura.
- Azufre: compuesto que asegura la flexibilidad del caucho y fortalece su resistencia mecánica al disminuir su susceptibilidad a las variaciones de temperatura. Con la cantidad correcta de azufre, el neumático exhibirá una excelente resistencia al desgaste.

2.3.3 Mezclado y preparación de materias primas.

El proceso de mezclado y preparación de compuestos es una etapa crucial en la fabricación de neumáticos. Este proceso comienza con la selección cuidadosa y el pesado preciso de las materias primas. Entre estas materias primas se incluyen el caucho natural y sintético, agentes de vulcanización como el azufre, antioxidantes, estabilizadores y refuerzos como el negro de humo. Cada uno de estos componentes se selecciona por sus propiedades específicos, que contribuyen a las características finales del neumático.

Una vez seleccionadas y pesadas las materias primas, estas se introducen en grandes molinos de mezcla. Estos molinos cuentan con rodillos que giran en direcciones opuestas, lo que aplasta y amasa los ingredientes. La fricción generada en este proceso produce calor, facilitando la integración de los materiales. El objetivo en esta fase es lograr una mezcla inicial homogénea, donde todos los componentes estén bien distribuidos.

En la siguiente etapa, se incorporan los aditivos químicos necesarios, los cuales se agregan para mejorar diversas propiedades del caucho, como su resistencia el envejecimiento, su flexibilidad y su capacidad para vulcanizar de manera efectiva. La

distribución uniforme de estos aditivos es crucial para asegurar que el compuesto de caucho tenga un rendimiento consistente.

Después de la adición de aditivos, el compuesto de caucho pasa por un mezclado final en refinadores adicionales o mezcladores internos, como los mezcladores Banbury. Este refinado asegura una mezcla completamente homogénea y libre de impurezas, y ayuda a eliminar cualquier aire atrapado, lo cual es esencial para la integridad del neumático. Durante esta fase, se realizan controles de calidad y ajustes según sea necesario para asegurar que el compuesto cumple con los estándares especificados.

Por último, una vez completado el mezclado final, el compuesto se somete a un proceso de enfriamiento. Este se realiza mediante sistemas de refrigeración o ventilación forzada, lo que ayuda a estabilizar el material y prepararlo para su posterior procesamiento. Tras el enfriamiento, el compuesto se corta en láminas o bloques (**Ilustración 1**), que se almacenan en condiciones controladas hasta que se necesite en la etapa de ensamblaje del neumático.

***Ilustración 1**. Compuesto formado en la etapa de mezclado.*

2.3.4 Laboratorio.

Antes de comenzar con la etapa de ensamblaje de los materiales, el compuesto formado pasa por el laboratorio donde se confirma que las propiedades físicas del material corresponden a las expectativas. Este proceso de validación se realiza en un laboratorio especializado y consta de varios pasos importantes:

- Muestreo del compuesto: se toman muestras representativas del compuesto de caucho que ha sido mezclado y enfriado.
- Resistencia a la tracción: mide la capacidad del material para soportar fuerzas de tensión sin romperse.
- Elasticidad: se evalúa la capacidad del caucho para volver a su forma original después de ser estirado o comprimido.
- Dureza: en este proceso se determina la resistencia del caucho a la deformación permanente bajo carga.
- Resistencia al desgaste: se mide cómo el material resiste la abrasión y el desgaste en condiciones de uso.

- Composición química: se asegura que los aditivos y componentes químicos están presentes en las proporciones correctas.

Una vez que se obtienen los resultados de las pruebas se comparan con las especificaciones y estándares de calidad predefinidos para asegurar que el compuesto es adecuado para su uso. Si el compuesto no cumple con los estándares, se realizan ajustes en el proceso de mezclado, como modificar la proporción de aditivos o el tiempo de mezclado.

Pasadas todas las pruebas de validación, el compuesto está listo para ser utilizado en la etapa de ensamblaje de los neumáticos, asegurando así que los productos finales cumplirán con los requisitos de rendimiento y seguridad esperados.

2.3.5 Fabricación de componentes.

El proceso de fabricación involucra varias sub-etapas que aseguran que los distintos componentes del neumático, como la banda de rodadura, los flancos y la carcasa, se produzcan con la calidad y precisión para cumplir con los estándares de la empresa.

- **Calandrado.**

Este proceso es el primer paso, en donde el caucho preparado en la etapa anterior se pasa a través de grandes rodillos de calandrado para formar láminas continuas de caucho de espesor uniforme. Estas láminas se utilizan para crear las bandas de rodadura y otras partes del neumático. Durante el calandrado, se asegura que el espesor del caucho sea constante y que la mezcla este bien distribuida a lo largo de la lámina.

- **Extrusión.**

A continuación, el caucho puede ser extruido en perfiles específicos necesarios para diferentes partes del neumático, como los flancos y los bordes. La extrusión implica forzar el compuesto de caucho a través de una matriz para darle la forma deseada. Este proceso primite crear componentes con geometría complejas y asegura una distribución uniforme del material.

- **Preparación de cuerdas y textiles.**

Los textiles y cordones de acero se preparan para ser integrados en la estructura del neumático. Los textiles, generalmente de nylon o rayón, y los cordones de acero se cortan en las dimensiones necesarias y se tratan para mejorar su adherencia al caucho. Estos materiales proporcionan resistencia y estabilidad al neumático.

- **Construcción de la carcasa.**

En esta etapa, las capas de caucho y textiles se ensamblan en una máquina de construcción de neumáticos para formar la carcasa. Los cordones de acero se integran en el proceso para reforzar la estructura del neumático, especialmente en la región del talón, que es crucial para el ajuste del neumático en la llanta.

- **Aplicación de la banda de rodadura.**

La banda de rodadura, es la parte del neumático que entra en contacto con la carretera, se aplica a la carcasa construida. Además, se añaden otros elementos como los flancos y el talón asegurando que todos los componentes se integren perfectamente.

- **Montaje final.**

En el montaje final, los diferentes componentes del neumático se ensamblan en una máquina de construcción. Esta máquina combina la carcasa, la banda de rodadura y otros componentes en un neumático crudo, listo para la siguiente etapa de vulcanización.

2.3.6 Vulcanización.

Esta etapa de vulcanización es uno de los pasos más críticos en el proceso ya que transforma el neumático crudo ensamblado en un producto terminado con las propiedades físicas y mecánicas necesarias para su uso. La vulcanización es una reacción química en la que el azufre presente en el compuesto de caucho forma enlaces cruzados entre las moléculas de caucho. Este proceso transforma el caucho crudo, que es pegajoso y plástico, en caucho vulcanizado, que es, elástico, resistente y duradero.
Una vez que el neumático ha sido ensamblado, se coloca en un molde de vulcanización, el cual se incorpora en una prensa. Este molde tiene la forma exacta del neumático final, incluyendo la banda de rodadura y cualquier otra marca o textura que deba tener el neumático. La prensa se calienta a temperaturas que pueden oscilar entre 150ºC y 200ºC. El calor es esencial para iniciar la reacción química necesaria para la vulcanización.

Además del calor, se aplica una alta presión al neumático crudo dentro de la prensa (**Ilustración 2**). Esta presión asegura que el caucho fluya completamente dentro del molde y se adhiera firmemente a los refuerzos de la estructura interna, como los cordones de acero y las capas textiles.

Ilustración 2. Prensa de vulcanización para cubiertas crudas.

El tiempo de vulcanización varía dependiendo del tamaño y tipo de neumático, pero generalmente dura entre 20 y 30 minutos. Este tiempo es suficiente para que el calor y la presión completen la reacción de vulcanización.

Por último, el neumático recién vulcanizado se enfría lentamente para evitar tensiones internas que puedan comprometer su integridad.

2.3.7 Inspección final.

La inspección final es un proceso exhaustivo que asegura que cada neumático cumple con los más altos estándares de calidad y seguridad. Por un lado, se realiza una inspección visual. Inspectores capacitados realizan una revisión manual de cada neumático. Se examina minuciosamente la superficie del neumático para detectar cualquier defecto visible, como cortes, abrasiones, burbujas, protuberancias o cualquier otra imperfección que pueda haber surgido durante el proceso de la fabricación.

Se verifica el dibujo de la banda de rodadura para asegurar que este correctamente formado. Esto es esencial para garantizar un buen desempeño en términos de tracción y durabilidad. Además, se comprueba que todas las marcas y etiquetas requeridas estén presentes y sean legibles. Esto incluye información sobre el tamaño del neumático, el índice de carga, el índice de velocidad y otros datos relevantes para su correcta identificación y uso.

Por otro lado, los neumáticos se someten a una inspección automática. Estos neumáticos pasan por escáneres de rayos X para detectar cualquier defecto interno no visible a simple vista. Puede incluir irregularidades en la estructura interna del neumático, como separaciones entre las capas de caucho y las cuerdas de acero o textil. Además, los neumáticos se someten a pruebas de equilibrio dinámico, ya que un neumático desequilibrado puede causar vibraciones y un desgaste irregular, por lo que se aseguran de que el peso esté distribuido uniformemente.

Una vez que han pasado todas las inspecciones y pruebas, se les da una aprobación final. Esto confirma que el neumático está listo para ser almacenado y enviado a los consumidores (**Figura 5**).

Figura 5. Diagrama del proceso completo.

2.4 Productos finales.

La planta de Neumáticos S.L se especializa en la producción de dos líneas principales de neumáticos: AGR (agrícolas) y TBR (Truck an Bus Radial). Cada línea está diseñada para satisfacer las necesidades especificases de diferentes mercados y aplicaciones, utilizando avanzadas tecnologías de fabricación y rigurosos controles de calidad para garantizar productos de alto rendimiento y durabilidad.

- **Línea de producción de neumáticos AGR**

Los neumáticos AGR son esenciales para maquinaria agrícola, proporcionando tracción, durabilidad y flotación en terrenos agrícola variados. Estos neumáticos están diseñados para soportar las duras condiciones del trabajo agrícola y ayudar a mejorar la eficiencia

operativa de los equipos agrícolas. Las principales características de este tipo de productos son:

- Tracción superior: diseñados para proporcionar una excelente tracción en suelos blandos y duros.
- Durabilidad: alta resistencia a cortes, desgarros y abrasiones
- Protección del suelo: distribución uniforme del peso para reducir la compactación del suelo.
- Flexibilidad y absorción de impactos: mayor proporción de caucho natural para una mejor absorción de impactos.

Esta planta tiene una capacidad de producción diaria significativa de neumáticos AGR, con aproximadamente 400 unidades producidas cada día. Esta capacidad permite a la planta satisfacer las demandas del mercado agrícola. Sin embargo, la demanda de estos neumáticos puede variar en función de las condiciones del mercado y las necesidades específicas de los clientes.

- **Línea de producción de neumáticos TBR**

Este tipo de neumáticos están diseñados para vehículos comerciales pesados como camiones y autobuses. Estos neumáticos deben cumplir con exigentes estándares de seguridad, durabilidad y eficiencia, ya que son cruciales para el transporte de mercancías y pasajeros. Las características más significativas de esta línea de productos son las siguientes:

- Construcción radial: proporciona estabilidad y una distribución uniforme de la presión.
- Alta capacidad de carga: diseñados para soportar cargas pesadas sin deformarse.
- Durabilidad extrema: alta resistencia al desgaste y larga vida útil.
- Eficiencia de combustible: baja resistencia a la rodadura para mejorar la eficiencia de combustible.
- Seguridad mejorada: tracción superior en condiciones húmedas y mayor resistencia al aquaplaning.

Al igual que en la línea de AGR en función de las fluctuaciones del mercado y las demandas específicas de los clientes, la capacidad de producción diaria puede variar. Esta línea tiene una producción aproximadamente de 500 unidades al día, lo que permite a la planta atender a las necesidades de los clientes, proporcionando neumáticos de alto rendimiento y excelente calidad.

2.5 Gestión de existencias dentro de un almacén.

Se define un almacén como “espacio físico en el que se albergan y custodian los materiales y productos, bien sean materias primas, semielaborados, o terminados y preparados para su distribución, y que permite su clasificación, manipulación y control” (Soler, 2009).

La tipología de los almacenes es muy diversa y puede clasificarse según diferentes criterios. No obstante, esta clasificación no es exclusiva, por lo que un mismo almacén puede categorizarse de distintas formas dependiendo del criterio que se utilice.

Existen 6 posibles criterios de clasificación, los cuales se dividen en diferentes categorías especificas: según el régimen jurídico de la infraestructura, según las necesidades específicas de una empresa, según la organización de la empresa, según la operativa y la zona de influencia, según las características del almacén y según la infraestructura necesaria (Flamarique, 2019).

En este caso de estudio se trata con un almacén de tipo: según el régimen jurídico, de propiedad; según las necesidades específicas de la empresa, de producto terminado; según la organización de la empresa, logístico; según la operativa y la zona de influencia, de primer nivel; según las características del almacén, de alta densidad; finalmente, según la infraestructura, de edificio cubierto.

El caso que se estudia en este trabajo es el de una empresa de tipo industrial o productora, ya que obtiene su producto mediante la transformación de las materias primas. Además, se puede clasificar como una industria pesada según el tipo de producto fabricado y como una industria manufacturera según la obtención de insumos (Lopez, 2023).

Una cantidad óptima de inventario garantiza que una empresa pueda satisfacer la demanda de sus clientes sin perder ventas por falta de mercancía, al mismo tiempo que minimiza los costos asociados con el exceso de almacenamiento, la obsolescencia y otros gastos financieros.

Es esencial que las empresas implementen políticas efectivas de gestión de inventarios para determinar cuándo y cuánto reponer, como almacenar, distribuir los productos y como monitorear los niveles de inventario de manera continua. Este enfoque estratégico asegura que el nivel de inventario sea óptimo de acuerdo con las necesidades de la empresa, los objetivos de servicio al cliente y las limitaciones financieras de la empresa. La gestión de inventarios tiene como objetivo primordial optimizar los costos inherentes al mantenimiento de existencias, al mismo tiempo que se asegura una óptima calidad del servicio al cliente.

Es crucial seleccionar métodos de aprovisionamiento adecuados para implementar de manera efectiva la política de gestión de inventarios elegida, asegurando la disponibilidad constante de los recursos necesarios para el funcionamiento organizacional de la empresa. Esta estrategia también permite gestionar eficientemente los costos asociados con el almacenamiento de inventarios y la adquisición de materiales, adaptándose a la demanda de los productos, ya sea independiente o dependiente de otros artículos.

A continuación, se detallan algunos de los diferentes métodos de aprovisionamiento utilizados para llevar a cabo la gestión de inventarios:

- **Sistemas de aprovisionamiento de cantidad fija:** se establece una cantidad especifica de productos que se debe pedir cada vez que se realiza un pedido de reaprovisionamiento. Está destinado a artículos con demanda independiente (UC).
- **Sistema de aprovisionamiento periódico:** se realiza un pedido de productos a intervalos regulares de tiempo, en lugar de cada vez que se agota una cantidad especifica de inventario. La cantidad exacta a ordenar puede variar según el nivel al final de cada periodo de tiempo preestablecido. Está destinado a artículos con demanda independiente (UC).

- **Modelo de lote económico o fórmula de Harris-Wilson:** se centra en determinar cuándo y cuánto se deben hacer los pedidos de inventario para minimizar los costos totales asociados con la gestión de stocks. Es adecuado para artículos que tienen una demanda independiente (UC).
- **MRP (Material requirements planning):** calcula automáticamente las cantidades necesarias de cada material basándose en la demanda de los productos finales, los niveles actuales de inventario y los tiempos de entrega de los proveedores. Esto ayuda a evitar excesos de inventario y escasez de materiales, optimizando así la eficiencia de la cadena de suministro y reduciendo los costes. Está destinado a artículos con demanda dependiente (Carballosa, 2014).

En este caso de estudio, se enfrentan dos tipos de demanda distintos. Por un lado, existe la demanda dependiente, la cual está directamente relacionada con la demanda de vehículos completos, ya que los neumáticos son componentes esenciales de estos vehículos. Por otro lado, también se observa una demanda independiente, dado que las cubiertas pueden ser vendidas como repuestos directamente a los clientes sin necesidad de estar asociadas a la compra de un coche completo.

Esta dualidad en la demanda implica que los métodos de aprovisionamiento y gestión de stocks seleccionados deben adaptarse según el tipo de cliente final. Implica la necesidad de estrategias que puedan manejar tanto la reposición regular y predecible asociada con la producción de vehículos como la gestión de inventarios para satisfacer la demanda directa de repuestos por parte de los consumidores.

Es por ello, que las cubiertas destinadas a clientes finales que las utilizan como componentes en la fabricación de un vehículo completo, suelen gestionar su aprovisionamiento utilizando el modelo de lote económico o la fórmula de Harris-Wilson, ya que la demanda se corresponde con la planificación de producción de los constructores de vehículos y por tanto es conocida con un plazo razonable.

Este enfoque les permite ordenar las cubiertas en cantidades que minimiza los costos totales, considerando tanto los costos de almacenamiento como los costos de realizar el pedido. Sin embargo, las cubiertas destinadas a clientes finales que las utilizan como productos de repuesto para distribuir a otros clientes, prefieren utilizar el método de MRP. Este método es más dinámico y está diseñado para ajustar los niveles de inventario según la demanda actual, asegurándose que siempre haya suficientes cubiertas disponibles para satisfacer las necesidades de los clientes.

En el ámbito logístico dentro de un almacén, la organización eficiente es crucial para alcanzar la satisfacción del cliente, un objetivo primordial en cualquier operación industrial.

La gestión de existencias en el almacén se centra en varios objetivos específicos:

- Minimizar los tiempos y movimientos necesarios para la manipulación de mercancías.
- Optimizar el espacio utilizado para almacenar la mercancía, reduciendo al mínimo el almacenamiento excesivo
- Mantener niveles adecuados de inventarios para evitar la falta de productos, asegurando siempre disponibilidad inmediata según la demanda.
- Garantizar la satisfacción del cliente mediante una gestión eficaz y oportuna.

En un entorno industrial de este tipo, un ratio típico de gestión de costes de almacén seria:

- 48% costos laborales
- 42% coste inmobiliario
- 10% equipo necesario para las operaciones

En términos generales, la eficacia de un almacén se fundamenta en una distribución optima de existencias que permita una manipulación eficiente, maximizando el uso del espacio disponible con el menor coste operativo posible. La maximización del volumen de almacenamiento disponible es crucial y constituye el principal desafío a abordar en este trabajo, especialmente en el contexto de un almacén automático donde la capacidad de almacenamiento de existencias está limitada.

2.6 Proceso de gestión de cubiertas actual.

El ciclo de vida de un producto, desde la adquisición de materias primas hasta su carga en el camión para su envió final, se compone de varias etapas generales inherentes a la operación de una empresa industrial.

En la **figura 6** se muestra el proceso general que sigue la mercancía dentro de la empresa de producción de neumáticos.

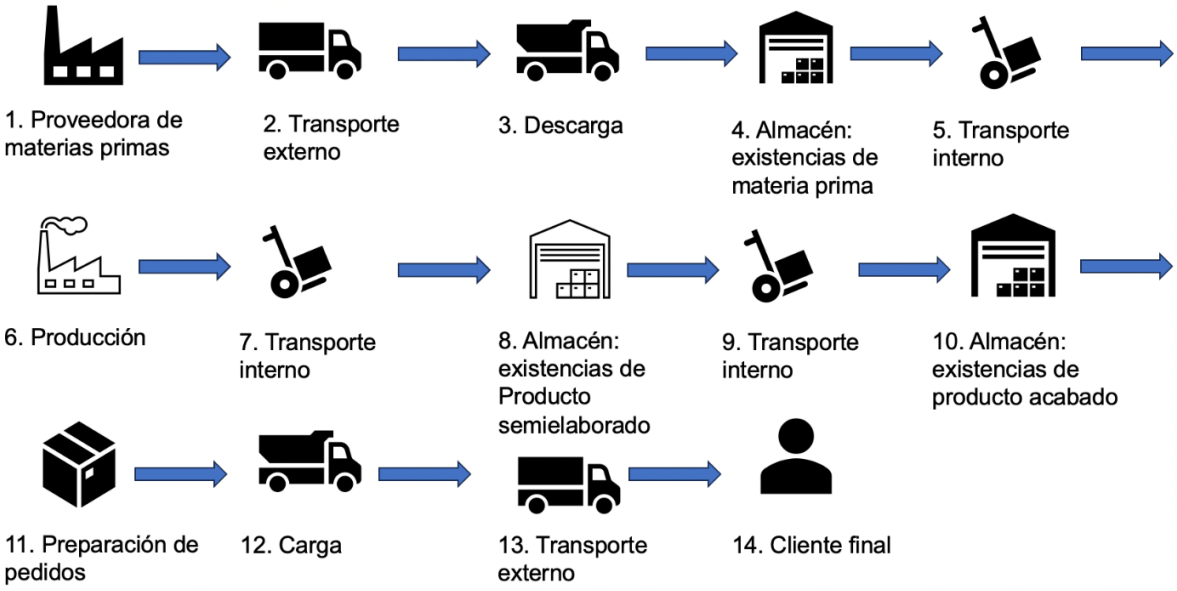

Figura 6. Flujo de una empresa de neumáticos.

A continuación, se va a explicar para el caso de estudio el proceso que sigue una cubierta desde que entra en el almacén hasta que sale expedida en el camión hacia su destino final. El almacén actual en el que se depositan los neumáticos está organizado según la **figura 7**;

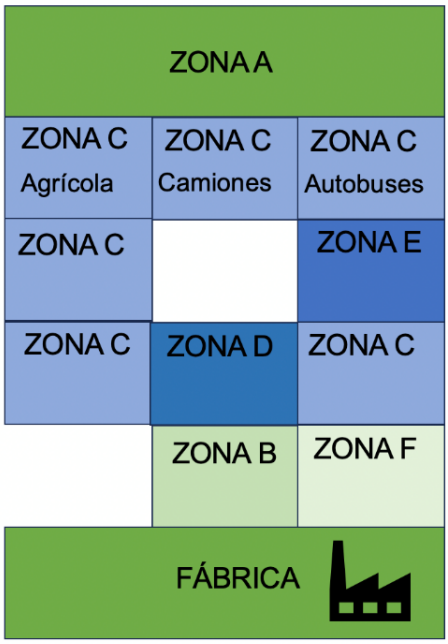

Figura 7. *Distribución del almacén.*

- Zona “A” recepción de las cubiertas desde la fabricación.
- Zona “B” recepción de las cubiertas recauchutadas desde la sección de inspección de la fábrica.
- Zona “C” almacenaje de las cubiertas.
- Zona “D” espacio destinado a una apiladora para ordenar las cubiertas recauchutadas.
- Zona “E” espacio destinado al sistema automático de almacenamiento que optimiza el almacenamiento y la recuperación de mercancías.
- Zona “F” muelles de carga.

La zona “C” de almacenaje se divide en tres zonas según el tipo de cubierta que se almacene:

- Cubiertas agrícolas (AGR)
- Cubiertas para camiones (TBR)
- Cubiertas para autobuses (TBR)

En la **figura 8** se puede observar el flujo general de una cubierta desde que entra en el almacén hasta que es expedida.

Figura 8. *Proceso de gestión de una cubierta en un almacén.*

A continuación, se detallarán las diferentes etapas del flujo de una cubierta en el almacén.

- **Recepción de cubiertas desde la fabricación al almacén.**
- **Registro de entrada:** una vez que las cubiertas han sido inspeccionadas, se trasladan por una cinta hasta la entrada del almacén.

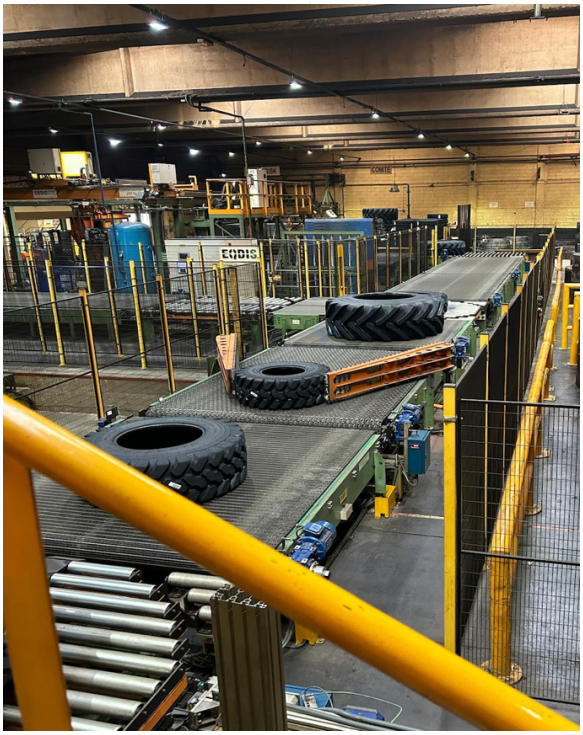

Figura 9. *Cinta transportadora de cubiertas.*

Un operario se encuentra en la zona previa de entrada del almacén, en donde su tarea es identificar la cubierta que llega para decidir en qué paleta debe ser almacenada. Cada una de las cubiertas lleva pegada una etiqueta con información relevante, como el tipo, tamaño y referencia de la cubierta. El operario lee la etiqueta visualmente y luego ingresa la información en el sistema de gestión del almacén (WMS). El WMS utiliza esta información para identificar el tipo de cubierta que está recibiendo y clasifica la cubierta de acuerdo con su referencia, asignando la ubicación de almacenamiento adecuada.

Estas cubiertas se colocan en forma de paleta, aunque el sistema indica donde debe ir la cubierta, la manipulación y colocación se hacen manualmente. El operario mueve la cubierta hasta la paleta asignada con ayuda de carretillas manuales. Cada paleta únicamente puede contener un único ITM (referencia a un tipo de cubierta identificada con un solo código), no pueden ser mezclados entre sí.

Un ITM es un término utilizado para referirse a un código único que se asigna a cada tipo de cubierta. Este sistema de identificación facilita el almacenamiento, la trazabilidad y la distribución correcta de las cubiertas, asegurando que los clientes reciban el producto correcto sin errores.

Es un almacén de paletas multifuncionales para almacenar todo tipo de neumáticos AGR y neumáticos TBR. En función del diámetro de la cubierta se pueden colocar en rulos de 3 o de 4. A su vez, cada rulo puede contener desde 4 hasta 8 cubiertas, dependiendo de su grosor. Por lo tanto, cada paleta variará en el número de cubiertas que contiene, y este número oscilará entre 12 y 32.

Esta paleta de neumáticos es apilable y tiene una estructura plegable de dos lados. Su estilo de diseño plegable y apilable les permite ahorrar espacio en el almacén cuando no están en uso. Están fabricadas con un acero dulce de alta resistencia con acabado con recubrimiento en polvo con colores llamativos. La dimensión externa es de L 228,6 cm x W 127 cm x H 218,44 cm y tiene una capacidad de carga de hasta 1000 kg.

- **Almacenamiento:** una vez que las cubiertas de un ITM están colocadas en su paleta correspondiente, estas son transportadas mediante carretillas elevadoras, manejadas de forma manual, a su ubicación correspondiente en el almacén.
  En cada ubicación solo pueden encontrarse paletas que tengan un mismo ITM, además estas ubicaciones tienen una capacidad determinada, de forma que solo se pueden apilar paletas hasta 5 alturas. Por lo tanto, el flujo de neumáticos al almacén es continuo desde la fábrica mientras duran los turnos de fabricación, es decir de lunes a viernes durante los 3 turnos de trabajo. El ritmo medio de producción es de 600 cubiertas/ día, es decir alrededor de 25 neumáticos/ hora, con un máximo de 41 neumáticos/hora.

- **Preparación de las cubiertas:** cuando llega la orden de pedido, una vez que se tienen las paletas ubicadas, se realiza una liberación. Este proceso consiste en extraer la mercancía del lugar correspondiente del almacén donde están ubicadas y transportarla hasta la zona en la que se prepara el pedido.
  Para realizar este proceso, se mandará una orden que contiene información como, la ruta con el destino del camión, los ITM que contendrá este y las cantidades de cada uno.
  Para calcular la cantidad de paletas que se mandan a la zona de preparación, se mira la cantidad total pedida de cubiertas de ese ITM y se le restan aquellas que ya están dentro de dicha zona. La diferencia se envía en unidades de paletas completas, tantas como sea necesario para conseguir la cantidad total requerida.
  El siguiente paso es realizar el “picking”, proceso que consiste en poner su etiqueta correspondiente para que sean expedidas. Las unidades que sobran no se etiquetarán y se quedarán dentro de esta zona hasta la próxima orden de pedido que contenga ese ITM. La acumulación de estas cubiertas es el principal problema que se plantea.

- **Expedición:** las cubiertas preparadas y etiquetas, se cargan en el camión correspondiente, donde un operario dará una ayuda final para colocarlas correctamente dentro de éste.

3. Resultados e interpretación.

En este apartado se describen los resultados obtenidos tras la implementación de tecnologías avanzadas y la optimización de los procesos en la empresa. Estos resultados reflejan las mejorar logradas en términos de eficiencia operativa, reducción de costos y sostenibilidad, así como su impacto positivo en la competitividad de la empresa.

3.1 Cálculo del método ABC.

Este método clasifica los ítems en tres categorías (ABC) según su importancia relativa con el objetivo de optimizar la gestión y control del inventario. Los pasos para calcular este método son los siguientes (Outvio, n.d):

- Identificación de ítems y recolección de datos: consiste en reunir una lista completa de los ítems en el inventario y para cada uno de ellos se debe recolectar la cantidad utilizada.
- Ordenar los ítems por las unidades consumidas: se deben de organizar los ítems en orden descendente según las unidades consumidas.
- Calcular el consumo total sumando el consumo anual de todos los ítems.
- Calcular el porcentaje de las unidades consumidas totales: calcular el porcentaje que cada ítem representa de unidades consumidas, junto con su porcentaje acumulado.
- Clasificación ABC: la categoría A incluye los ítems que representan aproximadamente el 70-80% de las unidades consumidas. La categoría B comprende los ítems que representan alrededor del 15-25% de las unidades consumidas y, por último, la categoría C representar alrededor del 5% de las unidades consumidas del inventario.

Una vez explicado el método de clasificación se calcula en base al inventario de Neumáticos S.L. permitiendo gestionar eficientemente el inventario, optimizando el almacenamiento y los recursos logísticos.

Se ha calculado el método ABC para 300 referencias de neumáticos, las cuales se dividen en tres grupos:

- Categoría A → con 56 referencias representa el 79,86% de las unidades consumidas.
- Categoría B → con 148 referencias representa el 14,84 % de las unidades consumidas.
- Categoría C → con 96 referencias representa el 5,3% de las unidades consumidas.

Con el objetivo de optimizar el uso del almacén y reducir los tiempos de búsqueda, las referencias se podrían organizar de la siguiente manera:

- Zona A (referencias de alta rotación): las 56 referencias de esta categoría deberán ubicarse lo más cerca posible de las zonas de picking o de entrada y salida del almacén. Se colocarán en pasillos con acceso directo y en estanterías

de media altura más accesibles para los AGVs. Esto reduce los tiempos de transporte y facilita un acceso rápido.

- Zona B (referencias de rotación media): las 148 referencias de la categoría B podrán ubicarse en las áreas más intermedias del almacén, con acceso razonablemente bueno, pero no tan prioritario como las referencias de la categoría A. Deberán ocupar estanterías a mayor altura, ya que se requieren con menos frecuencia que las de alta rotación.
- Zona C (referencias de baja rotación): las 96 referencias de la categoría C puede situarse en áreas más alejadas del almacén o en las estanterías más altas, ya que su demanda es baja y no es necesario un acceso inmediato.

Esta clasificación maximiza la eficiencia del almacén, asegurando que los productos con mayor demanda sean más accesibles, lo que reduce los tiempos de búsqueda y manipulación. Además, facilita un manejo más rápido y preciso, asegurando que las referencias de mayor rotación estén siempre al alcance, minimizando los desplazamientos innecesarios y aumentando la productividad general del sistema logístico.

3.2 Gestión de propuestas para futuras implementaciones.

Actualmente, el funcionamiento de la planta y el almacén se basa en un enfoque predominantemente manual, donde los trabajadores realizan tareas como el transporte, almacenamiento y gestión del inventario de manera física y directa. Este enfoque, aunque efectivo en ciertos aspectos, presenta desafíos en términos de eficiencia, precisión, escalabilidad y sostenibilidad medioambiental. Para mejorar estos aspectos, se propone la automatización del almacén mediante la implementación de vehículos guiados automáticamente (AGV). Esta tecnología permitirá optimizar las operaciones, reducir errores y costos operativos, y liberar al personal para enfocarse en tareas de mayor valor estratégico.

Los vehículos de guiado automático AGV son máquinas de transporte para el almacén, similares a las carretillas, que se desplazan automáticamente siguiendo una trayectoria trazada o programada de antemano. Existen varias máquinas con elevación y diferentes tipos de horquilla para la manipulación de pallets o bultos. Y en el mercado existen modelos de AGV específicamente diseñados para el transporte de pallets, cajas, bobinas y cargas voluminosas (Mecalux).

En el contexto de la industria 4.0, las empresas están bajo una presión creciente para innovar y mantenerse competitivas frente a sus rivales del sector. La automatización, que antes era vista como una inversión accesible solo para grandes corporaciones con recursos significativos, se ha convertido en una necesidad estratégica para empresas de todos los tamaños (Brettel et al., 2014). Hoy en día, la modernización de los procesos mediante sistemas automáticos como los AGV, es crucial para optimizar tiempos y mejorar la eficiencia operativa. Estas tecnologías no solo reducen costos, sino que también preparan a las empresas para un futuro más competitivo y sostenible (Jäkel et al., 2018).

Contrario a lo que se podría creer, los almacenes automáticos no se limitan únicamente a almacenar productos; su principal objetivo es agilizar la circulación de la mercancía. Un almacén automatizado está diseñado para asegurar que los productos se muevan rápidamente a través del sistema, optimizando así el flujo de materiales dentro de la

empresa. Según el Departamento de Organización de Empresas, E.F. y C (2003-2004) existe una secuencia de las tareas que son designadas para los almacenes automáticos y se explicaran en breve:

- Recepción: el proceso de recepción de mercancías es fundamental para garantizar la eficiencia y seguridad en la gestión logística. Este proceso incluye la verificación exhaustiva de la documentación para asegurar la correspondencia de lo recibido y lo solicitado, una inspección física rigurosa para confirmar que los productos están bien codificados, etiquetados, en buen estado y no exceden el peso máximo permitido. Además, se deben realizar controles de calidad para asegurar que el producto cumple con los estándares establecidos. Finalmente, la mercancía se registra en el sistema y se almacena de manera organizada, garantizando así la integridad del inventario y la seguridad en el almacén.
- Almacenamiento: disposición de las cargas en su ubicación con el objeto de retenerlas hasta su puesta a disposición.
- Recogida de pedidos: conocida también como picking, es la operación por la que se convierten las unidades de carga de compra en unidades de venta.
- Agrupación-ordenación: dependiendo del procedimiento de generación de pedidos, y la de la configuración del sistema de distribución será necesario establecer un sistema para agrupar y ordenar los pedidos según las rutas de distribución.
- Salida de bienes: el control de salidas, recuento numérico o control de calidad y el embarque en el medio de transporte correspondiente con las funciones con las que finaliza el proceso.

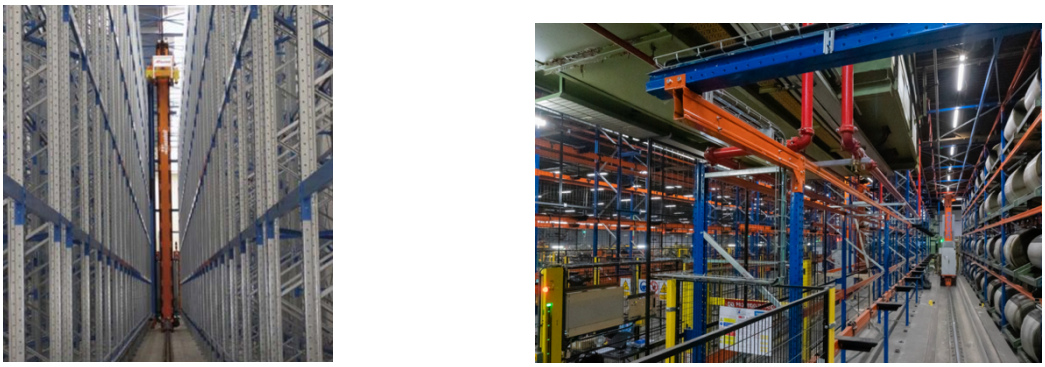

***Figura 20**. Ejemplos de un almacén automático.*

Una vez presentada una breve introducción técnica, se procede a desarrollar la propuesta para este caso de estudio.
Se plantea un almacén automatizado dedicado al almacenamiento de neumáticos, que emplea AGVs y radiofrecuencia para gestionar todo el proceso logístico, desde la producción hasta el envío de los productos al cliente final. Esta propuesta tiene como objetivo optimizar el espacio del almacén, reducir el tiempo de procesamiento de pedidos y mejorar la seguridad en el manejo de las cubiertas. Se detallarán las distintas zonas del almacén y el flujo de trabajo automatizado que integra estas tecnologías.

3.2.1 Diseño del almacén.

El diseño del almacén se ha estructurado siguiendo metodologías clave como “5S, Kaizen y Seis Sigma”, con el objetivo de optimizar tanto el espacio como los procesos

operativos. La metodología 5S ha sido aplicada para garantizar un entorno de trabajo ordenado y eficiente, eliminando los desperdicios y mejorando la organización del almacén (Hirano,2016).

Kaizen, como enfoque de mejora continua, ha sido fundamental para ajustar los procesos de almacenamiento y distribución, asegurando incrementos sostenidos en la productividad y reducción de ineficiencias (Imai,1986). Finalmente, Seis Sigma, ha permitido reducir variaciones y errores en los procesos logísticos mediante un análisis riguroso de datos, asegurando la precisión en la gestión de inventarios y la correcta disposición de materiales (Breyfogle, 2003). Estas metodologías han sido clave para desarrollar un almacén eficiente, con altos estándares de productividad y capaz de soportar el crecimiento futuro de la empresa.

Se debe estacar que la principal prioridad ha sido mejorar tanto la capacidad de flujo como la de almacenamiento, aprovechando la nave pre-existente para responder a la proyección de crecimiento de los próximos años. Anteriormente, el almacén estaba configurado con estanterías convencionales y pasillos de 3.5 m de ancho, operados mediante máquinas retráctiles. La capacidad inicial era de 4.000 neumáticos, lo que correspondía a unos 7 días de stock.

Con la nueva configuración, se ha aumentado la capacidad a 7.500 neumáticos, equivalente a 12.5 días de stock y aproximadamente 10 días si se cumplen las proyecciones de crecimiento. El tamaño del almacén de 2000 m_2 ha sido dimensionado considerando una producción diaria de 600 neumáticos, con un stock de seguridad equivalente a 10 días de inventario. Además, se proyecta un crecimiento del 20% en la capacidad productiva, incrementando el flujo diario a 720 neumáticos en los próximos años. Este espacio está diseñado para garantizar la eficiencia en la gestión de inventarios y flujos logísticos, permitiendo absorber tanto la demanda actual como el crecimiento proyectado, y asegurar la continuidad operativa sin saturaciones en el corto y medio plazo. Se aprovechará una altura vertical del edificio para maximizar el almacenamiento.

También se diseñaran pasillos estrechos (2m de ancho), optimizados para AGVs de tipo bilateral, los cuales pueden operar a ambos lados del pasillo sin necesidad de maniobras complejas ya que están equipados con un sistema de palas giratorias independientes, lo que permite que solo las palas realicen los movimientos de carga y descarga sin que sea necesario que el propio vehículo gire dentro del pasillo . Los pasillos están completamente dedicados a la circulación de estos vehículos automatizados y no están pensados para el acceso de personas, es decir no conviven las máquinas con los usuarios: Sin embargo, en caso de ser necesario el almacén podrá usarse de forma manual. Además, están equipados con sensores en el suelo y paredes para guiar a los AGVs de manera precisa y evitar colisiones, es decir circulan en un sistema de carriles virtuales que les permite moverse de manera rápida y eficiente.

Se diseñaran estanterías estándar que alcanzarán hasta 10 metros de altura(en el último larguero), lo que implica que el techo del almacén deberá estar a unos 13 metros de altura. Este diseño permite un almacenamiento en múltiples niveles, maximizando el uso del espacio vertical y facilitando una mayor capacidad de almacenamiento dentro del mismo espacio físico. Estas estanterías están diseñadas específicamente para almacenar cubiertas de diferentes tamaños y tipos. Son de acero resistente y modulares, lo que permite adaptar las ubicaciones según el tipo de cubierta. La altura optimizada de las estanterías, en combinación con el uso de AGVs bilaterales, asegura un flujo eficiente en pasillos estrechos, sin comprometer la capacidad de maniobra ni el acceso

a los productos almacenados de los niveles superiores. Las cubiertas de mayor rotación se almacenan en las estanterías más cercanas a la zona de expedición, mientras que las cubiertas de menor rotación se ubican más alejadas y en niveles superiores.

Para determinar cuántos AGVs son necesarios en la fábrica de neumáticos con una producción diaria de alrededor de 600 cubiertas y tres turnos de trabajadores debemos considerar varios factores clave:

- DIMENSIONAMIENTO DE LA ENTRADA
- Producción diaria: 600 cubiertas diaria y si se divide en 3 turnos, esto significa 200 cubiertas por turno.
- Capacidad de carga de los AGVs: el diseño estándar de los AGVs normalmente permite transportar entre 2 y 6 cubiertas por viaje, dependiendo del tamaño de las cubiertas. Se supone una capacidad de 4 cubiertas por viaje de AGV como promedio.
- Tiempo de ciclo: incluye el tiempo que tarda el vehículo en recoger las cubiertas desde la línea de inicio, transportarlas al almacén, descargarlas y regresar a su posición inicial. Este tiempo puede variar dependiendo del diseño, pero se asume un tiempo promedio de 5 a 10 minutos por ciclo de entrada, incluyendo las pausas para recarga de batería de los AGVs.
- Horas de trabajo por turno: cada turno tiene 8 horas de trabajo.
- Total de viajes por turno: si un AGV tarda entre 5 y 10 minutos por ciclo completo, en una hora podrá realizar aproximadamente entre 6 y 12 viajes. En un turno de 8 horas, esto equivale a un rango de 48 a 96 viajes por AGV.
- Neumáticos transportados por turno: dado que cada AGV puede transportar 4 cubiertas por viaje, un AGV podrá transportar entre 192 y 384 cubiertas en un turno de 8 horas, dependiendo de su eficiencia.

Teniendo en cuenta todos los factores y suponiendo el escenario más eficiente, si los AGVs son capaces de realizar 12 viajes por hora (5 minutos por ciclo) y transportan 4 cubiertas por viaje, cada AGV podría mover 384 cubiertas por turno. Con una producción de 200 cubiertas por turno, 2 AGV debería ser suficiente para manejar todo el transporte en un turno si el tiempo de ciclo es de 5 minutos. Aunque el dimensionamiento inicial considere un único AGV, es necesario prever la disponibilidad de un segundo AGV en caso de fallo del primero.

- DIMENSIONAMIENTO DE LA SALIDA.

El dimensionamiento adecuado de los AGVs para la salida de mercancía es crucial para asegurar que los pedidos se preparen y envíen de manera eficiente y puntual. En este proceso, se busca determinar el número óptimo de AGVs necesarios para mover las mercancías desde el área de almacenamiento hasta el punto de expedición. Para abordar el dimensionamiento de AGVs en la salida, donde se manejan picos de demanda de hasta 1000 cubiertas al día, es necesario realizar un cálculo técnico basado en la capacidad de carga, rendimiento de los AGVs, así como en los tiempos operativos disponibles.

- Demanda diaria máxima: 1000 cubiertas.
- Capacidad de un camión: 50 neumáticos.
- Número de camiones necesarios: 20 camiones/día.
- Horario efectivo para mover las mercancías: de 8:00 am a 4:00 pm (8 horas).
- Tiempo adicional para preparar el pedido antes de la llegada del camión: 2 horas.
- Mayor velocidad de salida: la salida debe ser más rápida que la entrada.

- Ajuste de la tasa de movimiento requerida: para mover 1000 cubiertas en 8 horas → 1000 cubiertas/ 8 horas = 125 cubiertas por hora.
- Número de viajes por hora por AGV: 12 viajes (5 minutos por ciclo).
- Cubiertas por viaje: 4 cubiertas.
- Capacidad total por hora por AGV: 12 viajes * 4 cubiertas = 48 cubiertas por hora

Para cumplir con la tasa de salida de 125 cubiertas por hora con cada AGV moviendo 48 cubiertas por hora:

- Número de AGVs necesarios: 125cubiertas por hora/ 48 cubiertas: 2.60 AGVs pero redondeando hacia arriba son 3 AGVs para cumplir con la demanda máxima de cubiertas.

Teniendo en cuenta el dimensionamiento de AGVs tanto en la entrada como en la salida del almacén, se puede optimizar el uso de recursos disponibles. Se ha calculado previamente que se necesitan 2 AGVs para gestionar el flujo de entrada y 3 AGVs para el flujo de salida. Dado que ambos flujos no ocurren simultáneamente y los AGVs tienen la flexibilidad de moverse entre diferentes áreas al almacén, los mismos 2 AGVs utilizados para la entrada pueden usarse en la salida del almacén, lo que permite una operación eficiente con un mínimo de recursos.

3.2.2 Integración tecnológica en cada fase.

Al finalizar el proceso de producción, cada neumático es etiquetado con un dispositivo de radiofrecuencia que permite una identificación instantánea y automática a lo largo de todo el proceso. Esta etiqueta contiene toda la información relevante del producto, como el código de referencia, tamaño, material, fecha de fabricación y destino final.

Una vez terminada y etiquetada, la cubierta es transportada a la zona de inspección final. Aquí, las cubiertas pasan por un control de calidad, donde las estaciones de control están equipadas con lectores de radiofrecuencia que verifican automáticamente la información del producto. Si la cubierta cumple con los estándares de calidad, se aprueba para su traslado al almacén.

Los AGVs se encargan de recoger las cubiertas aprobadas desde la zona de inspección. Estos vehículos guiados automatizados están equipados con lectores de radiofrecuencia para leer la información de cada cubierta automáticamente. El sistema de gestión del almacén asigna al AGV una ubicación de almacenamiento especifica basada en las dimensiones, tipo de cubierta y la disponibilidad de espacio en el almacén. Los AGVs están diseñados para manejar cargas pesadas y voluminosas. Pueden transportar una o varios neumáticos a la vez, dependiendo del tamaño, y tienen una capacidad de carga de hasta 1500kg.

El almacén está dividido en zonas delimitadas en las que operan los AGVS de manera autónoma. Estos vehículos están equipados con tecnología de navegación laser y cámaras de visión artificial para moverse de manera autónoma por el almacén. Siguen rutas predefinidas basadas en mapas del almacén, pero también tienen la capacidad de ajustar su ruta en tiempo real para evitar obstáculos o realizar movimientos más eficientes. Las zonas son las siguientes:

- **Zona de recepción:** los AGVs recogen las cubiertas recién inspeccionadas.

- **Zona de almacenamiento:** las cubiertas se almacenan en las estanterías.
- **Zona de preparación de pedidos:** cuando llega un pedido, el sistema de gestión del almacén selecciona las cubiertas necesarias en función de su ubicación. Los AGVs reciben instrucciones para recoger las cubiertas correspondientes desde sus posiciones de almacenamiento. Utilizando los lectores de radiofrecuencia, los AGVs verifican que han recogido la cubierta correcta y la trasladan a la zona de preparación de pedidos. En esta zona, los neumáticos se agrupan para su envío. Se pueden emplear robots colaborativos para embalar o preparas las cubiertas según las necesidades específicas del cliente.
- **Zona de envío:** el sistema automáticamente asigna los neumáticos al camión adecuado. Los lectores de radiofrecuencia escanean las cubiertas antes de su carga para verificar que todos los productos están presentes y en condiciones óptimas.

3.3 Ventajas del nuevo almacén.

En el entorno competitivo actual, la eficiencia operativa y la sostenibilidad se han convertido en pilares fundamentales para el éxito de las operaciones logísticas. La implementación de tecnologías avanzadas, como los vehículos guiados automáticamente (AGVs) y los sistemas de radiofrecuencia, está revolucionando la gestión de almacenes al ofrecer soluciones innovadoras que optimizan el flujo de trabajo y reducen los costos operativos.

Los AGVs, con su capacidad para automatizar el transporte de mercancías dentro del almacén y los lectores de radio frecuencia, que permiten una identificación precisa y en tiempo real de los productos, están transformando la manera en que los almacenes operan. Estas tecnologías no solo mejoran la eficiencia en el manejo de inventario y la precisión en las operaciones, sino que también juegan un papel crucial en la promoción de prácticas sostenibles. A continuación, se detallan las principales ventajas de implementar un nuevo almacén con este tipo de innovaciones:

- Automatización de procesos: los AGVs automatizan el transporte de mercancías dentro del almacén, reduciendo la necesidad de intervención manual y acelerando el movimiento de productos entre las distintas áreas. Según Janicijevic (2022), la implementación de sistemas automatizados permite una gestión más fluidas y precisa de las operaciones logísticas, desde el almacenamiento hasta la expedición del producto.
- Precisión en el inventario: los lectores de radiofrecuencia permiten una identificación precisa y en tiempo real de los productos, minimizando los errores y mejorando la precisión del sistema de gestión del almacén (Zhang et al., 2021).
- Menor necesidad de mano de obra: la automatización disminuye la necesidad de personal para tareas repetitivas, lo que puede llevar a una reducción en los costos laborales (Kumar, 2020).
- Menos errores: la precisión en la identificación y clasificación reduce los errores y el retrabajo, disminuyendo los costos asociados con correcciones y reclamaciones (Harris et al., 2022).
- Almacenamiento eficiente: los AGVs pueden operar en estrechos pasillos y estanterías más altas, permitiendo una mejor utilización del espacio vertical y horizontal del almacén (Liu et al., 2023).

- Mayor capacidad de almacenamiento: la automatización permite una organización más eficiente del inventario, lo que puede incrementar la capacidad de almacenamiento (Wang et al., 2022).
- Reducción de emisiones: los AGVs eléctricos producen cero emisiones durante su funcionamiento, contribuyendo a un entorno de trabajo más limpio.
- Operación con luz apagada: los AGVs pueden funcionar eficazmente en condiciones de baja iluminación, permitiendo mantener las luces apagadas y reduciendo el consumo energético (Thomas & Wilson, 2020).
- Menor consumo de energía: las tecnologías automatizadas y los sistemas de radiofrecuencia utilizan energías de manera eficiente, ayudando a reducir el consumo general del almacén (Green et al., 2021).
- Reducción de riesgos de accidentes: la automatización con AGVs disminuye los riesgos asociados con el manejo manual de cargas pesadas, proporcionando un entorno más seguro (Lee et al., 2022).
- Monitoreo y control: los sistemas de radiofrecuencia permiten un seguimiento en tiempo real del inventario, facilitando la identificación y resolución de problemas de manera eficiente (Chen & Zhang, 2023).
- Adaptabilidad: estas tecnologías pueden reconfigurarse para adaptarse a cambios en el diseño del almacén o en los procesos operativos, proporcionando una solución flexible (Johnson & Roberts, 2021).
- Escalabilidad: la tecnología permite la incorporación gradual de nuevos AGVs y lectores de radiofrecuencia a medida que aumenta el volumen de operaciones, facilitando la expansión sin interrupciones (Morris & Adams, 2022).

La implementación de estas tecnologías innovadoras no solo optimiza las operaciones logísticas, sino que también apoya practicas sostenibles y proporciona un entorno de trabajo más seguro y adaptable. Ofrecen un enfoque integral para mejorar la eficiencia, reducir costos y fomentar un futuro más ecológico en la gestión de almacenes.

3.4 Inconvenientes del uso de AGVs.

Aunque los vehículos guiados automáticamente (AGVs) ofrecen múltiples ventajas en términos de eficiencia y automatización, también presentan ciertos inconvenientes que deben ser considerados antes de su implementación en un almacén.

- Alto coste de implantación: su adquisición y la instalación de la infraestructura necesaria requieren una inversión inicial elevada (Riddick, 2019).
- Dependencia tecnológica (fallos en el sistema): si el sistema de control o el software que gestiona los AGVs falla, puede detenerse toda la operación del almacén, generando demoras en el flujo de trabajo (Chen & Wu, 2018).
- Capacitación del personal: el personal debe estar adecuadamente capacitado para operar y solucionar problemas técnicos en los AGVs y el software asociado, lo que implica una curva de aprendizaje (Harris, 2020).
- Limitaciones en flexibilidad: los AGVs suelen seguir rutas predefinidas, lo que puede limitar su capacidad para adaptarse rápidamente a cambios en el diseño del almacén o nuevas configuraciones de inventario. Además, aunque son eficaces en tareas repetitivas, enfrentan desafíos cuando se les requiere realizar tareas complejas o no estandarizadas que demandan decisiones en tiempo real, reduciendo su versatilidad general (Li & Wang, 2020).

- Capacidad limitada de carga: aunque pueden transportar cargas pesadas, están limitados a un rango especifico de peso y volumen (Huang, 2019).
- Interferencia con el tráfico de personas y otros vehículos: la coexistencia de AGVs y personal en el mismo espacio pueden generar cuellos de botella o riesgos de seguridad su no se gestionan adecuadamente las zonas de circulación (Liu et al., 2020).
- Limitación en la capacidad de ciclos: la capacidad de los AGVs para realizar un número determinado de viajes por hora limita su velocidad de respuesta en situaciones de alta demanda (Wang & Yang, 2019).

Si bien los AGVs son una solución eficiente para la automatización en almacenes, su implementación conlleva desafíos, especialmente en términos de costo, flexibilidad y mantenimiento. Estos inconvenientes deben ser cuidadosamente evaluados para garantizar que la inversión se ajuste a las necesidades específicas de cada operación logística.

4. Evaluación de costes y beneficios en la implementación de un almacén automatizado.

La optimización de los procesos logísticos y la gestión eficiente de inventarios son fundamentales para el éxito y la competitividad en el sector de la distribución y el almacenamiento. En este contexto, la automatización de almacenes se ha convertido en una estrategia clave para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costes asociados a la gestión de inventarios. La implementación de tecnologías avanzadas, como los vehículos guiados automáticamente y sistemas de lectura de radiofrecuencia, promete transformar significativamente las operaciones de almacenamiento.

Este estudio se centra en evaluar los costes y los beneficios asociados en la implementación de un almacén automatizado. El objetivo es proporcionar una visión clara y detallada de la inversión inicial necesaria, los costes recurrentes y los ahorros potenciales que se pueden generar a partir de la automatización.

Los aspectos principales que se han tenido en cuenta en este estudio son los siguientes:

- Coste inicial de implementación: instalación de AGVs, lectores de radiofrecuencia y estanterías.
- Costes anuales de mantenimiento: incluyendo soporte técnico, mantenimiento preventivo y correctivo, y otros gastos operativos recurrentes.
- Ahorros potenciales: reducción en mano de obra, ahorro en energía, reducción en alquiler de maquinaria, optimización del espacio de almacenamiento, reducción de errores y daños.
- Evaluación de la rentabilidad: análisis de amortización para determinar el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a partir de los ahorros generados. También se evalúa el impacto a largo plazo en la rentabilidad de la empresa.

Una vez analizados los costes y beneficios, la empresa puede tomar decisiones informadas sobre la viabilidad de la inversión en tecnología de automatización y su impacto en la eficiencia operativa y la rentabilidad.

A continuación, se detallan los costes y ahorros asociados a la implementación de un almacén automatizado.

- **Inversión inicial** (dinero que se debe gastar para poner en marcha el sistema automatizado: coste de arranque en función de la reducción de productividad durante los primeros meses, siendo para el primer mes un pérdida del 50% y un 80% para el segundo mes , AGVs, lectores de radiofrecuencia, estanterías) para un almacén automatizado de 10.000 m_2 , en donde sus costes son los siguientes:
- Coste de arranque: 50% del primer mes + 80% del segundo mes = 70.000€
- Instalación de AGVs: 3 AGVs x 90.000 € cada AGV = 270.000 €.
- Lectores de radiofrecuencia: 10 lectores x 1.500 € = 15.000 €.
- Estanterías estándar: 7000m_2 x 80 €/m_2 = 560.000 €
- **Coste anual de mantenimiento** (cantidad anual que se debe gastar para asegurar de que se siga operando eficientemente)
- Coste anual de mantenimiento antes = 45.000 €
- Coste anual de mantenimiento ahora = 845.000€ x 15% = 126.750€.
- Coste total final mantenimiento = 81.750 €

- Total coste inicial = 270.000€ + 15.000€ + 560.000€ + 70.000€ + 81.750€ = 996.750 €
- **Ahorro mano de obra** (total de los gastos relacionados con el empleo de los trabajadores)
- Coste de mano de obra antes = 7 trabajadores x 30.000€ = 210.000€
- Coste de mano de obra ahora = 3 trabajadores x 30.000€ = 90.000€
- Ahorro en mano de obra = 120.000€
- **Ahorro en energía**
- Ahorro en energía por la sustitución de carretillas elevadoras, mejora en los sistemas de iluminación y optimización de los sistemas de climatización: 30.000€
- **Ahorro en alquiler de maquinaria:** 40.000€
- **Reducción de errores y daños** (la automatización reduce errores humanos en la manipulación del inventario y la posibilidad de dañar productos) = 100.000€/ año.
- **Total ahorro anual =** 120.000€ + 30.000€ + 40.000€ + 100.000€ = 290.000€
- **Amortización del coste inicial** (este periodo indica que los ahorros generados por la automatización cubrirán completamente el coste inicial de la inversión)

$$Periodo\ de\ amortización = \frac{Inversión\ inicial}{Ahorro\ anual} = \frac{915.000€}{290.000€} = 3{,}15\ años$$

En la siguiente **Tabla 2** se muestra un resumen con todos los datos relevantes para al análisis de amortización del sistema automatizado en el almacén:

***Tabla 2**. Análisis de costos y ahorros para la automatización del almacén*

Concepto	Coste antes(€)	Coste nuevo(€)	Ahorro(€)
Inversión inicial			
Coste de arranque		70.000 €	
Instalación de AGVs		270.000 €	
Lectores de radiofrecuencia		15.000 €	
Estanterías estándar		560.000 €	
Total inversión			915.000 €
Costes operativos			
Coste anual de mantenimiento	45.000 €	126.750 €	-81.750 €
Mano de obra directa	210.000 €	90.000 €	120.000 €
Energía			30.000 €
Alquiler de maquinaria			40.000 €
Reducción de errores y daños			100.000 €
Total ahorro anual			290.000 €

La decisión de automatizar el almacén implica un gran coste inicial tanto económicamente como operativamente. Sin embargo, esta inversión se justifica porque genera ahorros significativos a lo largo del tiempo, gracias a la eficiencia mejorada, reducción de costes y reducción de costes operativos. Con una inversión inicial de 845.000€ que se amortiza en aproximadamente en 5 años, es decir, en este periodo de tiempo se tardara en recuperar lo que se ha invertido a través de los ahorros generados.

5. Impacto ambiental de los nuevos sistemas de automatización.

La industria de la fabricación de neumáticos genera un importante impacto ambiental debido a varios factores, como el consumo de energía, el uso de materiales no renovables (como el caucho sintético y derivados del petróleo) y la emisión de gases contaminantes. Además, la gestión de residuos es un reto significativo, ya que los neumáticos fuera de uso suelen terminar en vertederos o ser incinerados, contribuyendo a la contaminación del aire y suelo.

Uno de los aspectos más preocupantes en la producción de neumáticos es el elevado consumo de energía. Los procesos de mezclado, ensamblaje y vulcanización requieren grandes cantidades de electricidad y combustibles fósiles, lo que incrementa la huella de carbono de las plantas. Además, la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COVs) durante el procesamiento del caucho y el uso de productos químicos como el negro de carbono generan un impacto negativo en el aire y la salud pública (Pires & Martinho, 2019).

Frente a estos retos, la sostenibilidad se ha convertido en una prioridad en la industria de neumáticos, con esfuerzos concentrados en el reciclaje de neumáticos usados, el desarrollo de materiales más ecológicos y la eficiencia energética en las plantas. El enfoque hacia una economía circular es clave, promoviendo la reutilización de neumáticos a través de procesos como el recauchutado y el reciclaje de materiales para otros usos industriales (Singh et al., 2020).

Por ejemplo, los neumáticos reciclados se emplean en la fabricación de pavimentos asfalticos, lo que contribuye a la reducción de residuos y la disminución de la demanda de nuevos materiales. Al mismo tiempo, se están explorando alternativas al caucho tradicional, como el caucho sintético derivado de fuentes renovables, lo que disminuye la dependencia del petróleo.

La implementación de sistemas de automatización, como los vehículos guiados automáticamente (AGVs) y la integración de la tecnología de radiofrecuencia en almacenes, puede contribuir de manera significativa a la sostenibilidad de la planta. En primer lugar, la automatización permite reducir el consumo energético, optimizando el uso de recursos y mejorando la eficiencia operativa. Los AGVs eléctricos, por ejemplo, generan cero emisiones directas sobre su operación, sustituyendo a los vehículos tradicionales que utilizan combustibles fósiles (Mecalux, 2023).

Además, la automatización reduce la necesidad de iluminación y climatización, ya que los almacenes pueden operar en condiciones de baja iluminación o incluso a oscuras, lo que supone un ahorro considerable de energía. Según estudios, la automatización puede disminuir hasta un 30% el consumo energético en almacenes, lo que repercute directamente en la reducción de la huella de carbono de la empresa (García et al.,2021).

Otra ventaja es la optimización del espacio y la gestión de inventarios. Al contar con sistemas automatizados que gestionan el almacenamiento de manera más eficiente, se reduce la necesidad de grandes espacios de almacenamiento, minimizando la construcción de nuevas instalaciones y el impacto ambiental asociado.

Las tecnologías implementadas en las plantas automatizadas también ayudan a reducir las emisiones indirectas. La optimización del transporte interno, al reducir la manipulación Manuel y los errores en la gestión de stocks, disminuye la necesidad de desplazamientos adicionales. Además, la automatización permite una planificación más eficiente de las rutas de distribución, lo que reduce el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los camiones de distribución.

En conjunto, la automatización contribuye no solo a una mayor eficiencia operativa, sino también a una mejora en la sostenibilidad ambiental de la planta de producción de neumáticos.

6. Conclusiones.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar y proponer soluciones innovadoras para el rediseño de la planta y el almacén en una empresa del sector de la fabricación de neumáticos, con el fin de mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos y aumentar la competitividad de manera coherente con el resto de la cadena de suministro y el enfoque estratégico de la empresa. A lo largo del análisis, se ha demostrado que la integración de tecnologías avanzadas y la implementación de una estrategia de minimización de stocks son fundamentales para optimizar los recursos, reducir el almacenamiento innecesario y sincronizar de manera las eficiente la producción con la demanda del mercado.

Se demostró que la estrategia de minimización de stocks, junto con un diseño adecuado del almacén, ha resultado en una mejora considerable de los procesos operativos. Al reducir los niveles de inventario, se optimizan los flujos de materiales dentro de la planta y el almacén, lo que permite una mayor precisión en la manipulación de materias primas y productos terminados. Esto genera una operación más ágil, disminuye los costos de almacenamiento y reduce el riesgo de obsolescencia y desperdicios.

Uno de los avances más significativos del proyecto ha sido la transición de un almacén tradicional a un almacén automatizado. Esta transformación ha permitido un uso más eficiente del espacio, una mejor gestión de inventarios y reducción de errores humanos mediante el uso de tecnologías como los vehículos guiados automáticamente (AGVs) y los sistemas de radiofrecuencia. La automatización ha mejorado la precisión y velocidad de las operaciones, reduciendo los tiempos y costos, y generando un entorno de trabajo más seguro y eficiente.

El rediseño también ha tenido un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental. La minimización de stocks reduce la necesidad de energía para el almacenamiento y mantenimiento de inventarios, mientras que las tecnologías automatizadas con bajo consumo energético ayudan a disminuir las emisiones contaminantes. Este enfoque ecológico mejora la alineación de la empresa con las normativas medioambientales y las crecientes expectativas sociales de sostenibilidad.

Además, esta mejora ha permitido a Neumáticos S.L responder más rápidamente a las fluctuaciones del mercado, mejorando su capacidad para cumplir con la demanda de manera más precisa y eficiente. La reducción de tiempos de producción y costos operativos ha incrementado la competitividad, posicionando a la empresa mejor frente a sus competidores en el mercado global.

Por consiguiente, este nuevo rediseño ofrece dentro de las limitaciones inmobiliarias del almacén pre-existente una mayor flexibilidad para ajustar los niveles de producción y almacenamiento según las condiciones del mercado. Esta capacidad de adaptación permite evitar problemas como la sobreproducción o el desabastecimiento, lo que es crucial en un entorno competitivo y de rápida evolución como el de la fabricación de neumáticos.

El estudio económico del proyecto ha demostrado que, aunque los costos iniciales de la automatización son elevados, estos se compensan con los ahorros recurrentes en mano de obra, energía y reducción de errores. El tiempo de amortización proyectado es razonable, garantizando beneficios sostenidos y una mayor rentabilidad futura.

Para finalizar con este trabajo, es importante que se han logrado los objetivos propuestos inicialmente, ya que se ha implantado la transición de un almacén tradicional a un almacén automatizado siendo una solución efectiva para mejorar la eficiencia operativa, la rentabilidad y la competitividad de la empresa. además, se han planteado una serie de alternativas que permiten conseguir una empresa más sostenible desde una perspectiva medioambiental.

En futuros estudios, se espera ampliar este trabajo evaluando más en profundidad la implementación de la inteligencia artificial para optimizar aún más la gestión de inventarios y la predicción de la demanda.

7. Bibliografía.

- Asociación ADINE. (s.f.). Neumáticos en España. Recuperado de https://www.asociacionadine.com/?s=neumaticos+en+espa%C3%B1a
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 perspective. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 8(1), 37-44
- Breyfogle, F. W. (2003). *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*. Wiley.
- Bridgestone. (2024). Bridgestone. Recuperado de https://www.bridgestone.com/corporate/index.html
- Bridgestone España. (2022). *Neumáticos inteligentes: la revolución tecnológica para una conducción más segura*. Recuperado de https://www.bridgestone.es/neumaticos-inteligentes
- Bryan Garnier. (s.f.). Recuperado de https://www.bryangarnier.com/
- Carballosa, A. N. (2014). Dirección de operaciones: Decisiones tácticas y estratégicas. Editorial UOC.
- Chen, J., & Zhang, Y. (2023). Real-time monitoring and control in automated warehouse systems. *Journal of Logistics and Supply Chain Management*, 15(3), 4.
- Chen, L., & Wu, J. (2018). *Infrastructure Requirements for Automated Guided Vehicles*. Journal of Operations Management, 60(2), 150-160. Recuperado de https://doi.org/10.1016/j.jom.2018.05.001
- Consumer Reports. (s.f.). Recuperado de https://www.consumerreports.org/cars/tires/
- Continental España. (2023). *Neumáticos Run-Flat: seguridad y tranquilidad en todas las carreteras*. Recuperado de https://www.continental.es/neumaticos-run-flat
- El Confidencial. (2024, enero 24). China, globalización, OMC, fábrica del mundo, geopolítica. Recuperado de https://www.elconfidencial.com/economia/2024-01-24/china-globalizacion-omc-fabrica-mundo-geopolitica_3816494/
- Datasur. (s.f.). Neumáticos: Principales proveedores y compradores. Recuperado de https://www.datasur.com/neumaticos-principales-proveedores-y-compradores/
- Departamento de Organización de Empresas, E.F. y C. (2004). Diseño de Sistemas Productivos y Logísticos: Almacenes. mayo, 2019, de Departamento de Organización de Empresas, E.F. y C. Recuperado de: http://personales.upv.es/jpgarcia/linkeddocuments/7%20almacenes.pdf

- EPA. (s.f.). Recuperado de https://www.epa.gov/
- European Tyre and Rubber Manufacturers Association (ETRMA). (2023). Sustainable development in the tire industry. Recuperado de https://www.etrma.org/sustainability
- Flamarique, S. (2019). Manual de gestión de almacenes. Marge books. Recuperado el 2023.
- García, P., López, J., & Serrano, R. (2021). Warehouse Automation: Energy Efficiency and Sustainability in Modern Supply Chains. *Journal of Logistics and Operations*, 13(2), 112-127
- Green Car Congress. (s.f.). Recuperado de https://www.greencarcongress.com/
- Green, R., Lee, S., & Patel, A. (2021). Energy efficiency in automated warehouses. *International Journal of Energy Research*, 45(7), 1362-1375.
- Haigh, R. (2023). Tyres 15 2022 ranking
- Harris, J., Martinez, L., & Smith, B. (2022). Error reduction through automation in supply chain operations. *Operations Management Review*, 29(4), 234-247.
- Harris, R. (2020). *Training Requirements for Effective Implementation of Automated Guided Vehicles*. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 13(4), 592-604. Recuperado de https://doi.org/10.3926/jiem.3084
- Hirano, H. (2016). *5S for Operators: 5 Pillars of the Visual Workplace*. Productivity Press
- Huang, Y. (2019). *Load Capacity Challenges in Automated Guided Vehicles*. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100(9), 2145-2155. Recuperado de https://doi.org/10.1007/s00170-018-2975-0
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. Random House
- Intelligence, M. (2018). Informe mercado de neumáticos automotrices. Recuperado de https://mordorintelligence.com/es/industry-reports/automotive-tires-market
- Jäkel, T., Weiss, J., & Renner, H. (2018). Autonomous guided vehicles: State of the art and future trends. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(3), 453-466.
- Janićijević, N. (2022). Automation in logistics: Trends and impacts. *Logistics and Transportation Review*, 24(1), 67-82
- Johnson, D., & Roberts, K. (2021). Integrating new technologies in automated warehouses. *Journal of Technology Management*, 17(2), 121-135.
- Kumar, V., & Kumar, S. (2020). Labor reduction through warehouse automation. *Industrial Engineering Journal*, 34(6), 89-104.
- Lee, J., Brown, T., & Davis, M. (2022). Safety improvements in automated warehouse environments. *Safety Science*, 142, 105-117.

- Liu, Q., Yang, H., & Li, J. (2020). *Interaction between automated guided vehicles and human traffic*. *Journal of Safety Research*, 72, 159-168. Recuperado de https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.11.005
- Lopez, J. F. (2023). Empresa industrial. Recuperado de https://economipedia.com/definiciones/empresa-industrial.html
- Mecalux. (s.f.). AGV filoguiado: Ventajas y aplicaciones en logística. Recuperado de https://www.mecalux.es/manual-almacen/carretillas/agv-filoguiado
- Mecalux. (2023). Automated Guided Vehicles (AGVs): Advantages in Modern Warehousing. Recuperado de https://www.mecalux.es
- Michelin. (2023). *El futuro de los neumáticos ecoeficientes*. Recuperado de https://www.michelin.es/ecoeficiencia
- Michelin. (2023). The importance of tire design on fuel efficiency. Recuperado de: https://www.michelin.com/fuel-efficiency
- Miller, R., & Smith, L. (2021). Carbon footprint reduction in automated logistics. *Environmental Impact Assessment Review*, 85, 104-118.
- Morris, P., & Adams, G. (2022). Scalability in automated warehouse systems. *Journal of Automation and Control Engineering*, 19(5), 200-212.
- National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). (2024). Tire performance and safety. Recuperado de: https://www.nhtsa.gov/equipment/tire-performance
- Outvio. (n.d.). *Método ABC en almacenes: Qué es y cómo aplicarlo*. Outvio. https://outvio.com/es/blog/metodo-abc-almacenes/
- Pires, A., & Martinho, G. (2019). Environmental Impact of Tire Production: Energy Consumption and Air Emissions. *Sustainable Manufacturing Journal*, 7(3), 45-61.
- Real Academia Española. (2024). Neumático. En Diccionario de la Lengua Española (edición de tricentenario). Recuperado de https://dle.rae.es/neum%C3%A1tico
- Riddick, F. (2019). *Automated Guided Vehicles: Benefits and Costs*. International Journal of Logistics Management, 30(1), 70-85.Recuperado de https://doi.org/10.1108/IJLM-04-2018-0157
- Smith, J. (2022). *The role of tires in modern transportation*. Transportation Research Institute.
- Singh, S., Patel, R., & Chauhan, V. (2020). Circular Economy in the Tire Industry: Reducing Waste through Recycling and Reusing. *Journal of Environmental Management*, 55(1), 178-189
- Soler, D. (2009). Diccionario de logística (2ª edición). Marge books. Recuperado el 2023.

- Thomas, H., & Wilson, R. (2020). Low-light operation and energy savings in automated warehouses. *Energy Management Journal*, 23(4), 177-190
- Tire Technology International. (s.f.). Recuperado de https://www.tiretechnologyinternational.com/
- Universidad de Cantabria. (s.f.). Tema 11 OWC. Recuperado de https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1975/course/section/1687/Tema_11_OWC.pdf
- Wang, J., & Yang, X. (2019). *Cycle time constraints in automated guided vehicles*. *Computers & Industrial Engineering*, 130, 358-368. Recuperado de https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.007
- Zhang, T., Liu, H., & Wang, X. (2021). Inventory precision with automated tracking systems. *Journal of Inventory Management*, 32(3), 88-102.