



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



Escola d'Enginyeria Agroalimentària
i de Biosistemes de Barcelona

Diseño de la zona de almacenamiento y aplicación de sistema de paletizado automático para un planta de distribución de productos alimentarios

Trabajo realizado por:
Nicolás Alvis Montero

Dirigido por:
Antonin Sebastien Ponsich
Sara Hatami

Máster en:
**Tecnologías Facilitadoras para la Industria Alimentaria y de
Bioprocesos - KETFOOD**

Barcelona, 21 de Octubre 2023



Master in
Key Enabling
Technologies
4 Food and
+ Bioprocesses

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos aquellos que desempeñaron un papel crucial en la realización de este trabajo de fin de máster. En primer lugar, extendiendo mi gratitud hacia mis tutores, Antonin y Sara, cuya orientación experta y conocimientos guiaron cada fase de este proyecto. También quiero reconocer al profesor Xavier Galvadà, con quien inicié este proyecto y quien me proporcionó las bases sólidas para su desarrollo.

A mis padres, quienes han sido mi principal fuente de apoyo y motivación durante este recorrido académico. Su aliento constante y comprensión fueron elementos clave para superar los desafíos que surgieron.

A mis hermanos, les agradezco por su apoyo y por estar presentes en cada logro y desafío. Su respaldo ha sido esencial para mi éxito.

A mi novia, agradezco su comprensión, paciencia y amor constante. Su apoyo emocional y aliento desempeñaron un papel crucial en mantenerme enfocado y motivado.

A mis amigos, verdaderos pilares en mi vida, les doy las gracias por la complicidad, los momentos de distracción y su respaldo incondicional.

A mis compañeros de clase y profesores, agradezco compartir este viaje académico, colaborar en proyectos y crear vínculos estrechos.

Mi más profundo agradecimiento a cada uno que contribuyó en este proceso. Su aporte y apoyo resultaron fundamentales para alcanzar el éxito en este proyecto de fin de máster.

Resumen

Este proyecto se centra en la creación de un almacén de alto rendimiento que incorpora un sistema de paletizado automático, diseñado específicamente para una planta de distribución de productos alimentarios. El objetivo principal de este proyecto es abordar los desafíos logísticos que enfrentan los almacenes automáticos autoportantes, como la necesidad de optimizar el espacio, reducir los tiempos de operación y garantizar la calidad y seguridad de los productos perecederos. Para alcanzar estos objetivos, se propone un sistema de paletizado automático que permite la organización eficiente de los productos en paletas, optimizando el espacio de almacenamiento y facilitando la manipulación y el seguimiento de los productos a lo largo de la cadena de suministro.

En este estudio, se analizan en profundidad los componentes clave de este sistema, que incluyen la estructura en sí del mismo almacén y los sistemas de transporte de paletas. Se investiga cómo estas tecnologías pueden integrarse de manera efectiva en el almacén de la planta de distribución, asegurando una operación eficiente y una gestión adaptada a las características del sistema inventario. Se exploran diferentes configuraciones y estrategias de paletizado para adaptarse a las necesidades específicas de la planta y los productos alimentarios que maneja. Los resultados finales demuestran una reducción significativa de los ciclos de operación, una mayor eficiencia en la manipulación de productos y una mejora en la calidad y precisión de la distribución.

En resumen, este proyecto proporciona una guía detallada para el diseño e implementación de almacenes con sistemas de paletizado automático. Los hallazgos y recomendaciones aquí presentados pueden realizar el punto de partida de la implementación de un modelo de simulación, con el objetivo de mejorar la capacidad de almacenamiento y distribución de productos de manera más eficiente, económica y sostenible. Esta investigación proporciona una hoja de ruta valiosa para empresas del

sector de alimentos y futuros proyectos, en general, que buscan mejorar su capacidad de almacenamiento y distribución de manera efectiva.

Abstract

This project focuses on the creation of a high-performance warehouse that incorporates an automatic palletizing system, designed specifically for a food products distribution plant. The main objective of this project is to address the logistical challenges faced by clad-rack automated warehouses, such as the need to optimize space, reduce operation times and guarantee the quality and safety of perishable products. To achieve these objectives, an automatic palletizing system is proposed that allows the efficient organization of products on pallets, optimizing storage space and facilitating the handling and tracking of products throughout the supply chain.

In this study, the key components of this system are analyzed in depth, including the structure of the warehouse itself and the pallet transportation systems. It investigates how these technologies can be effectively integrated into the distribution plant warehouse, ensuring efficient operation and management adapted to the characteristics of the inventory system. Different configurations and palletizing strategies are explored to adapt to the specific needs of the plant and the food products it handles. The final results demonstrate a significant reduction in operating cycles, greater efficiency in product handling and an improvement in the quality and precision of distribution.

In summary, this project provides detailed guidelines for designing and implementing warehouses with automated palletizing systems. The findings and recommendations presented here can be the starting point for the implementation of a simulation model, with the aim of improving the storage and distribution capacity of products in a more efficient, economical and sustainable way. This research provides a valuable roadmap for companies in the food sector and future projects, in general, that seek to improve their storage and distribution capacity effectively.

Índice

Agradecimientos	3
Resumen	5
Abstract	6
Índice	7
Índice de figuras	9
Índice de tablas	10
1. Introducción	12
1.1. Contexto	13
1.2. Objeto del proyecto	14
1.3. Objetivo del proyecto	15
1.4. Alcance del proyecto	16
1.5. Contenido del proyecto	16
2. Diseño del almacén	17
2.1. Hipótesis de partida	18
2.2. Distribución y elementos de un almacén	19
2.3. Caso de estudio	22
2.4. Diseño factible de la zona de almacenamiento	25
2.4.1. Criterio de selección de componentes clave	26
2.4.1.1. Estanterías	26
2.4.1.2. Transelevadores	28
2.5. Layout preliminar	30
2.5.1. Consideración de factores iniciales	30
2.5.2. Cálculo de capacidades	35
2.5.2.1. Capacidad estática	35
2.5.2.2. Capacidad dinámica	41
2.6. Análisis del layout preliminar	61
2.6.1. Propuesta de capacidad estática	62
2.6.2. Propuesta de capacidad dinámica	62
3. Discusión: propuestas de diseños y análisis de resultados	70
3.1. Análisis de layout alternativo	70
3.1.1. Propuesta de capacidad estática (P5)	70
3.1.2. Propuesta de capacidad dinámica (P5)	71
3.2. Análisis del layout reducido	77
3.2.1. Propuesta de capacidad estática (L10%-)	78
3.2.2. Propuesta de capacidad dinámica (L10%-)	78
4. Tecnologías implementadas	85

5. Propuesta de mejoras y futuros proyectos	89
6. Conclusión	92
7. Referencias y bibliografía	95

Índice de figuras

Figura 1. Almacén autoportante (Fuente: Mecalux)	18
Figura 2. Plan general de distribución de almacén (Fuente: InterlakeMecalux)	22
Figura 3. Dimensiones de europalets (Fuente: EN)	23
Figura 4. Estanterías de doble profundidad (Fuente: RackingSystem)	28
Figura 5. Transelevador monocolumna (Fuente: Craftsman)	29
Figura 6. Componentes de estanterías convencionales (Fuente: Dimensia)	32
Figura 7. Parte inferior de un estante visto lateralmente desde el pasillo	34
Figura 8. Vista lateral de la altura de las estanterías	37
Figura 9. Vista frontal de la estantería	40
Figura 10. Ciclo de movimientos simples, proceso de entrada y salida en almacenaje	41
Figura 11. Ciclo de movimientos combinados, proceso de entrada y salida en almacenaje	42
Figura 12. Gráfica velocidad-tiempo	45
Figura 13. Gráficas velocidad-tiempo de los 3 tipos de posibles desplazamientos	46

Índice de tablas

Tabla 1. Datos del caso de estudio sobre almacén de paletas	24
Tabla 2. Datos del horario de entrada y salida del almacén	24
Tabla 3. Restricciones del caso de estudio	25
Tabla 4. Porcentaje de los tipo de paletas con respecto al total	36
Tabla 5. Determinación de los pisos de la estantería y la altura total	37
Tabla 6. Determinación de longitud total de la estantería	38
Tabla 7. Características de las monocolumnas	42
Tabla 8. Características de las horquillas de las monocolumnas	43
Tabla 9. Coordenadas de los puntos P1 y P2	44
Tabla 10. Primer movimiento del paso uno	48
Tabla 11. Segundo movimiento del paso uno	49
Tabla 12. Tercer movimiento del paso uno	50
Tabla 13. Cuarto movimiento del paso uno	50
Tabla 14. Primer movimiento del paso dos en traslación	52
Tabla 15. Primer movimiento del paso dos en elevación	52
Tabla 16. Segundo movimiento del paso dos en traslación	53
Tabla 17. Segundo movimiento del paso dos en elevación	53
Tabla 18. Tercer movimiento del paso dos en traslación	54
Tabla 19. Tercer movimiento del paso dos en elevación	54
Tabla 20. Primer movimiento del paso tres	55
Tabla 21. Segundo movimiento del paso tres	56
Tabla 22. Comparación del rendimiento de los ciclos simples y combinados	58
Tabla 22. Primer movimiento en traslación	63
Tabla 23. Primer movimiento en elevación	64
Tabla 24. Segundo movimiento en traslación	64
Tabla 25. Segundo movimiento en elevación	65
Tabla 26. Tercer movimiento en traslación	65
Tabla 27. Tercer movimiento en elevación	66
Tabla 28. Comparación del rendimiento de los ciclos simples y combinados	66
Tabla 29. Determinación de longitud total de la estantería con cinco pasillos	71
Tabla 30. Primer movimiento en traslación (P5)	72
Tabla 31. Primer movimiento en elevación (P5)	72
Tabla 32. Segundo movimiento en traslación (P5)	73
Tabla 33. Segundo movimiento en elevación (P5)	73
Tabla 34. Tercer movimiento en traslación (P5)	74

Tabla 35. Tercer movimiento en elevación (P5)	74
Tabla 36. Comparación del rendimiento de los ciclos simples y combinados (P5)	75
Tabla 37. Primer movimiento en traslación (L10%-)	79
Tabla 38. Primer movimiento en elevación (L10%-)	79
Tabla 39. Segundo movimiento en traslación (L10%-)	80
Tabla 40. Segundo movimiento en elevación (L10%-)	80
Tabla 41. Tercer movimiento en traslación (L10%-)	81
Tabla 42. Tercer movimiento en elevación (L10%-)	81
Tabla 43. Comparación del rendimiento de los ciclos simples y combinados (L10%-)	82

1. Introducción

En las diferentes industrias, la demanda de mejora y desarrollo de nuevas tecnologías ha experimentado un crecimiento exponencial en el transcurso de los últimos años. En la actualidad, muchas empresas a nivel mundial se han visto obligadas a automatizar sus procesos logísticos de manera integral. Precisamente, en las plantas de distribución, la gestión de almacenes desempeña un rol fundamental dentro de la cadena de suministros. El correcto funcionamiento de las operaciones de almacenamiento resulta crítico para el flujo ininterrumpido de la cadena logística a lo largo de toda la empresa, garantizando la satisfacción de las demandas de los clientes (Dong Yang et al., 2020).

La automatización de los almacenes es una solución innovadora que ha estado evolucionando desde fines del siglo pasado, especialmente en empresas de gran envergadura en el sector de manufactura, alimentación y bebidas, farmacéuticas, comercios minoristas, entre otras. Su propósito radica en optimizar las operaciones dentro de un almacén a través de la aplicación de tecnología. Este enfoque busca fundamentalmente mejorar la eficiencia y reducir los costos asociados. Un almacén que carece de eficiencia puede originar demoras en la entrega de productos, lo que perjudica la experiencia del cliente e incurre en gastos innecesarios.

Por lo tanto, los objetivos de la automatización de un almacén incluyen optimizar el flujo de trabajo y reducir los tiempos de procesamiento de pedidos, optimizar tareas repetitivas y minimizar la labor física humana, aumentar la precisión en la gestión del inventario y entrega de productos, lograr mayor capacidad y escalabilidad, mejorar la trazabilidad facilitando el seguimiento de productos a tiempo real y proporcionar datos detallados sobre las operaciones del almacén. Estos datos pueden utilizarse para tomar decisiones informadas y mejorar continuamente el rendimiento. Vale la pena aclarar que, la automatización de almacenes no implica necesariamente la incorporación de sistemas robotizados u otros dispositivos físicos. En muchas ocasiones, se refiere al uso de un software para la automatización de la planificación y

ejecución de las tareas, empleando enfoques computacionales avanzados. A pesar de que la implementación de una estrategia de automatización conlleva a gastos iniciales, estos suelen amortizarse a través de una mayor eficiencia, un aumento en las ventas y una mejora significativa en la atención al cliente.

El propósito del presente proyecto consiste en la concepción de un almacén automático autoportante, diseñado para atender requisitos de demanda específicos. Se pretende que este modelo sirva como referencia estándar para el dimensionado de almacenes con necesidades similares. Iniciamos este proyecto abordando una problemática logística y económica concreta. Empleando herramientas de ingeniería, como cálculo de dimensionamiento, evaluación de capacidades y optimización de la distribución de instalaciones, se busca encontrar soluciones. Este enfoque se dirige hacia la creación de una planta de distribución destinada a productos alimentarios, particularmente.

1.1. Contexto

Al igual que la tecnología ha avanzado en la cadena de suministro, la industria alimentaria ha seguido este camino de innovación para optimizar sus procesos productivos y elevar la calidad de la materia prima y los productos finales. En particular, los productos alimentarios, enfoque central de este trabajo, requieren de una atención especial en su manipulación, transporte y distribución. La clave radica en la velocidad con la que estos alimentos comienzan a degradarse, perdiendo valor nutricional y sus características organolépticas. Una gestión y planificación adecuada del almacén resulta esencial para el control, monitoreo, cuidado y distribución eficiente de estos productos.

Los almacenes completamente automatizados representan instalaciones logísticas que hacen uso de equipos de manipulación y sistemas de transporte automatizados con el fin de perfeccionar el desempeño de sus operaciones, abarcando desde la carga hasta

la descarga de camiones. Estos almacenes revolucionarios prescinden del uso de carretillas elevadoras tradicionales y reducen al mínimo la intervención de personal humano en su interior. La incorporación de monocolumnas en los pasillos de almacenamiento constituye una estrategia clave para optimizar de manera precisa la disposición y posicionamiento de las mercancías en sus respectivas estanterías, impulsando la eficiencia y la capacidad de almacenamiento (Buckow & Knust, 2023).

Cuando se trata de plantas con una rotación elevada de productos, una amplia variedad de referencias y unidades de volumen homogéneo, como es el caso en la industria alimentaria, donde la disponibilidad de espacio exige soluciones de almacenamiento en altura, los almacenes autoportantes surgen como la elección ideal para su estudio e implementación. Estos almacenes aprovechan al máximo la superficie disponible, gracias a su estructura y, especialmente, a su sistema de gestión de almacenamiento, que garantiza un control exhaustivo del inventario y reduce significativamente los errores al disminuir la intervención del personal en tareas de almacenamiento y mantenimiento.

Por otro lado, es importante destacar que, dado su tamaño y complejidad, estos almacenes requieren una inversión inicial sustancial, así como costos continuos de mantenimiento. Además, para asegurar un funcionamiento eficaz, es imprescindible contar con un sistema informático sólido que abarque desde el seguimiento de productos hasta la satisfacción de los requisitos del cliente.

1.2. Objeto del proyecto

El objeto de estudio del proyecto es un almacén de distribución automatizado autoportante para productos alimentarios. La automatización de los almacenes es efectiva para empresas que mueven grandes volúmenes de mercadería, ya que facilita el manejo del inventario del mismo, mejorando la eficiencia de las operaciones.

En la industria alimentaria, donde la velocidad de distribución y la calidad del producto son factores cruciales, trabajar en estrecha colaboración con la tecnología es esencial. La tendencia hacia el consumo de alimentos frescos ha experimentado un notable aumento en la última década, ya que la población mundial valora cada vez más el valor nutricional, el origen y la calidad de los alimentos que consume.

Dentro de este proyecto, se analizan minuciosamente todas las facetas y componentes del almacén autoportante, desde su estructura básica hasta su disposición y los elementos necesarios para su implementación exitosa. La simulación de tiempos de operación se ajustará estrechamente a los objetivos de este proyecto, brindando resultados coherentes y alineados con las metas planteadas.

1.3. Objetivo del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es diseñar y realizar el análisis técnico de la zona de almacenamiento de un almacén que opera con un sistema de paletización automática que tenga la capacidad de responder a las necesidades específicas de una planta de distribución de alimentos. Para lograr este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar la zona de almacenamiento que optimice el proceso de almacenaje y la distribución de alimentos, minimizando el tiempo de manipulación y maximizando la eficiencia operativa.
- Analizar las componentes a ser implementadas en el sistema de paletización automática que permita la rápida y precisa colocación de productos en las unidades de almacenamiento, reduciendo el margen de error.
- Determinar y calcular la capacidad estática y dinámica, evaluando la cantidad de productos a ser almacenados y considerando los flujos de entrada y de salida de la zona de almacenamiento.
- Plantear diseños alternativos para comprobar si son congruentes con las limitaciones planteadas en el caso de estudio.

1.4. Alcance del proyecto

Este estudio se centra en el análisis de un almacén autoportante destinado a la distribución de productos frescos para consumo humano. Sin embargo, la estructura técnica desarrollada para este espacio no solo es aplicable a la industria de alimentos, sino que también se extiende a cualquier sector que requiera la automatización de un almacén con un considerable volumen de inventario. Es importante destacar que el diseño de este almacén autoportante implica la necesidad de un terreno extenso debido a su estructura de gran altura, generalmente superior a los doce metros, con el objetivo de maximizar la ocupación del espacio disponible.

Se afronta el desafío de encontrar una solución que se ajuste a los parámetros específicos, buscando mejorar la eficiencia del almacén al aprovechar al máximo el espacio disponible. En este contexto, es crucial abordar tanto los aspectos logísticos como económicos. La reducción del tamaño del almacén se presenta como una ventaja competitiva significativa, ya que implica beneficios tanto en términos de eficiencia operativa como en ahorros económicos.

Dentro de las restricciones de diseño establecidas, el enfoque se orienta a la tarea de compactar el almacén de manera estratégica, buscando lograr una eficacia máxima. Este proceso implica consideraciones logísticas y económicas para garantizar que la solución propuesta no solo optimice el uso del espacio sino que también se traduzca en ventajas competitivas sostenibles a largo plazo.

1.5. Contenido del proyecto

En cuanto al contenido del proyecto, se dará inicio con la elaboración de una propuesta detallada para el diseño de la zona de almacenamiento en una planta de distribución especializada en productos alimentarios. Este proceso se iniciará identificando y abordando un problema específico, cuidadosamente planteado para satisfacer las necesidades, requisitos y especificaciones preestablecidas. Antes de

entrar en la resolución de la problemática, se realizará una descripción exhaustiva de todos los factores y elementos cruciales que componen el almacén e influyen en el resultado de sus operaciones.

El dilema presentado se centra en un almacén con una capacidad de almacenamiento de cuarenta mil paletas. La tarea es calcular la dimensión que este espacio puede soportar eficientemente y determinar el tiempo requerido para los movimientos asociados a las operaciones de carga y descarga. Los resultados obtenidos serán luego utilizados para la evaluación de dos alternativas adicionales de diseño para la zona de almacenamiento. Este enfoque nos permitirá contrastar y analizar los puntos fuertes de cada alternativa, facilitando la toma de decisiones informada sobre cuál diseño podría ser más ventajoso para su implementación.

Finalmente, se presentarán propuestas de mejora derivadas de las lecciones aprendidas durante el desarrollo de este proyecto. Además, se explorarán posibles proyectos futuros que podrían surgir como continuación natural, aprovechando la base establecida y las oportunidades de optimización identificadas a lo largo de esta investigación y diseño de la zona de almacenamiento.

2. Diseño del almacén

Como se mencionó previamente, este proyecto se origina como respuesta a una problemática específica sobre un almacén autoportante que tiene inicialmente la capacidad de almacenar cuarenta mil paletas. En esta sección, se guiará al lector a través de un proceso paso a paso que abarca tanto los aspectos cuantitativos como cualitativos relacionados con dicha problemática para el diseño técnico del almacén. Se comenzará con la hipótesis y la descripción detallada de la distribución del almacén, donde se analizarán factores clave como la infraestructura del mismo y la gestión logística actual. Luego, se detalla el caso de estudio en particular en el cual reside la problemática, para que posteriormente se centre en la evaluación de las dimensiones de las estanterías y el tiempo de recorrido de los transelevadores en los pasillos que

serán definidos previamente en este proceso. A medida que se avanza, se explorará a profundidad cómo estos elementos interactúan y cómo las mejoras propuestas en el proyecto pueden abordar eficazmente la problemática, optimizando la eficiencia y el rendimiento en el almacén.

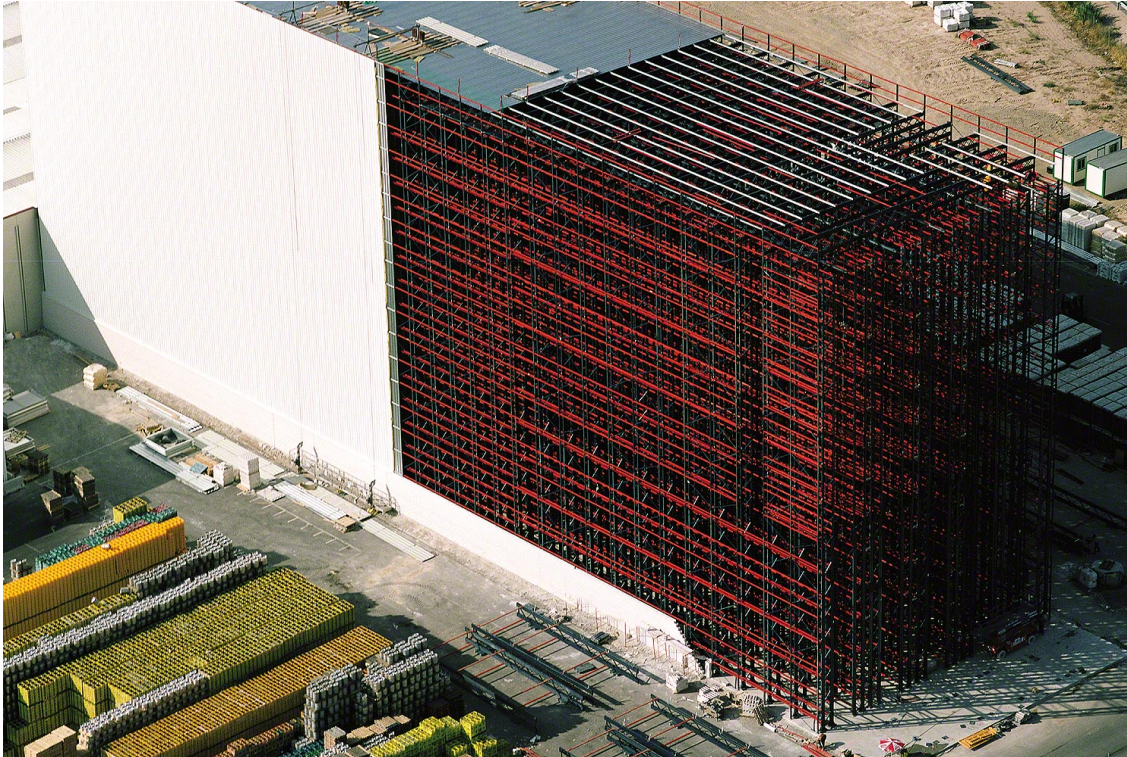


Figura 1. Almacén autoportante (Fuente: Mecalux)

2.1. Hipótesis de partida

La implementación de un sistema de paletizado automático en una planta de distribución de productos alimentarios, respaldada por un diseño de almacén especialmente adaptado para cubrir las necesidades específicas del proyecto, conducirá a una mejora significativa en la eficiencia operativa, la precisión en la gestión de inventario y la capacidad de respuesta a las demandas del mercado. Lo anterior se se traducirá en una optimización de los costos operativos y una mayor competitividad en la industria alimentaria.

2.2. Distribución y elementos de un almacén

Un almacén autoportante con un sistema de paletizado automático es una instalación de almacenamiento avanzada que maximiza el espacio y mejora la eficiencia operativa. La distribución de un almacén de este tipo se caracteriza por su diseño que aprovecha al máximo el espacio vertical. A continuación, se detalla la distribución del almacén con sus respectivos elementos:

- Zona de recepción: Es el punto de entrada de entrada de productos y mercaderías a las instalaciones del almacén. Su función principal es recibir los productos que llegan por parte de los proveedores y son transferidos a los sistemas automatizados para su almacenamiento. Esta zona se encarga específicamente de una serie de operaciones mencionadas a continuación:
 - Descarga de productos: Los productos son descargados de los camiones o contenedores que llegan a la entrada del almacén. Este proceso generalmente implica el uso de equipos de carga y descarga, como montacargas o plataformas elevadoras, para transportar los productos del vehículo al área de recepción.
 - Inspección inicial: A menudo, se realiza una inspección preliminar de la mercadería para descartar daños o discrepancias con las órdenes y especificaciones de los productos ingresantes.
 - Registro y documentación: Se realiza un registro y documentación de los productos entrantes. Esto puede incluir la aportación de información como el número de lote, número de serie, código de barras o, dependiendo del nivel de automatización, la lectura automática de tarjetas de identificación por radiofrecuencia (RFID) para asegurar el control del inventario.
 - Clasificación: Los productos pueden etiquetarse en esta etapa si es necesario para su posterior identificación y seguimiento al interno del almacén.

- Preparación para el almacenamiento: Una vez la mercadería ha sido inspeccionada, registrada y clasificada, se prepara para el almacenamiento. Ese proceso implica organizar los productos de manera que estén disponibles para su transferencia al interior de las estanterías.
- Zona del buffer: Es un área estratégica destinada a gestionar temporalmente productos y mercancías antes de su ingreso o después de su salida de la zona de almacenamiento. Su función principal es actuar como amortiguador o zona de almacenamiento intermedio para facilitar el flujo eficiente de productos dentro del sistema automatizado, especialmente en situaciones en las que existen variaciones de velocidad de la entrada y la salida de palets. Al actuar como amortiguador el buffer ayuda a reducir el cuello de botella en la operación de almacenamiento ya que permite una transición más suave de productos en las diferentes etapas del proceso logístico.
- Zona de almacenamiento: Esta área es el núcleo de la instalación y está diseñada para almacenar los productos y productos de manera eficiente y optimizada. Esta zona se caracteriza por su capacidad para aprovechar al máximo el espacio disponible, permitiendo el almacenamiento en estanterías de gran altura. A continuación se da una descripción de los elementos y componentes fundamentales de la zona de almacenamiento:
 - Estanterías: Las estanterías están diseñadas para soportar y organizar los productos que son agrupados en palets. Pueden variar el diseño y tamaño dependiendo de la personalización y necesidades específicas por parte de la empresa. Las estanterías se disponen verticalmente para aprovechar al máximo el espacio en altura del almacén. Esto es esencial en almacenes automáticos donde la eficiencia en el uso del espacio es un factor crítico.

- Sistema de transporte: Se suelen incorporar sistemas de transporte, como cintas transportadoras, que permiten el movimiento de los palets hacia y desde la estantería.
 - Pasillos y rutas de acceso: Entre las estanterías, se encuentran los pasillos que permiten el movimiento de los transelevadores y otros equipos automatizados. Estos pasillos son estratégicamente diseñados para facilitar la circulación de los equipos y garantizar un flujo eficiente de productos.
 - Sistema de almacenamiento automático: Para la manipulación de productos es usual el uso de sistemas automatizados. Esto puede incluir, transelevadores, robots de paletización, sistema de grúas o apiladores automáticos. Estos equipos se encargan de la entrada y la salida de los palets de las estanterías de manera eficiente y precisa.
 - Control y software: Las operaciones de almacenamiento se integran con sistemas de control y software de gestión de almacenes (WMS). Estos sistemas rastrean la ubicación de productos en el almacén y optimizan la distribución de productos, garantizando un acceso rápido y preciso cuando sea necesario.
-
- Zona de picking y preparación de pedidos: Esta es un área dedicada a la preparación de productos y pedidos antes de su envío y distribución. Esta área es fundamental para garantizar que los productos se seleccionen, empaqueten y documenten adecuadamente antes de salir del almacén. La automatización del área de alistamiento junto con los sistemas de información del almacén contribuyen a una preparación más rápida y precisa para su posterior despacho.
 - Zona de despacho: Esta zona se considera que es parte del proceso final de almacenamiento. Esta área se podría considerar similar al área de recepción ya que también experimentan procesos de inspección, clasificación, registro y documentación con la diferencia que tienen un flujo de salida del almacén. Los palets preparados y empaquetados finalmente se cargan en los camiones o

contenedores para ser trasladados a su destino final. La eficiencia de esta área es fundamental para cumplir con los plazos de entrega y satisfacer la expectativa de los clientes. La automatización, junto con los sistemas de gestión de almacenes (SWM), asisten a una operación eficiente de la zona de despacho del almacén.



Figura 2. Plan general de distribución de almacén (Fuente: InterlakeMecalux)

2.3. Caso de estudio

En el contexto del almacén actual, se opera exclusivamente con europalets, cuyas dimensiones están estandarizadas en 800 x 1200 mm de ancho y largo, respectivamente. El cuadro adjunto (consultar Tabla 1) destaca cuatro tipos de palets distintos, cada una con alturas variables de 600 mm, 1000 mm, 1250 mm y 1500 mm, respectivamente. Es importante tener en cuenta que cada tipo de palet tiene una capacidad máxima de carga de 800 kg, incluido el peso del propio palet.

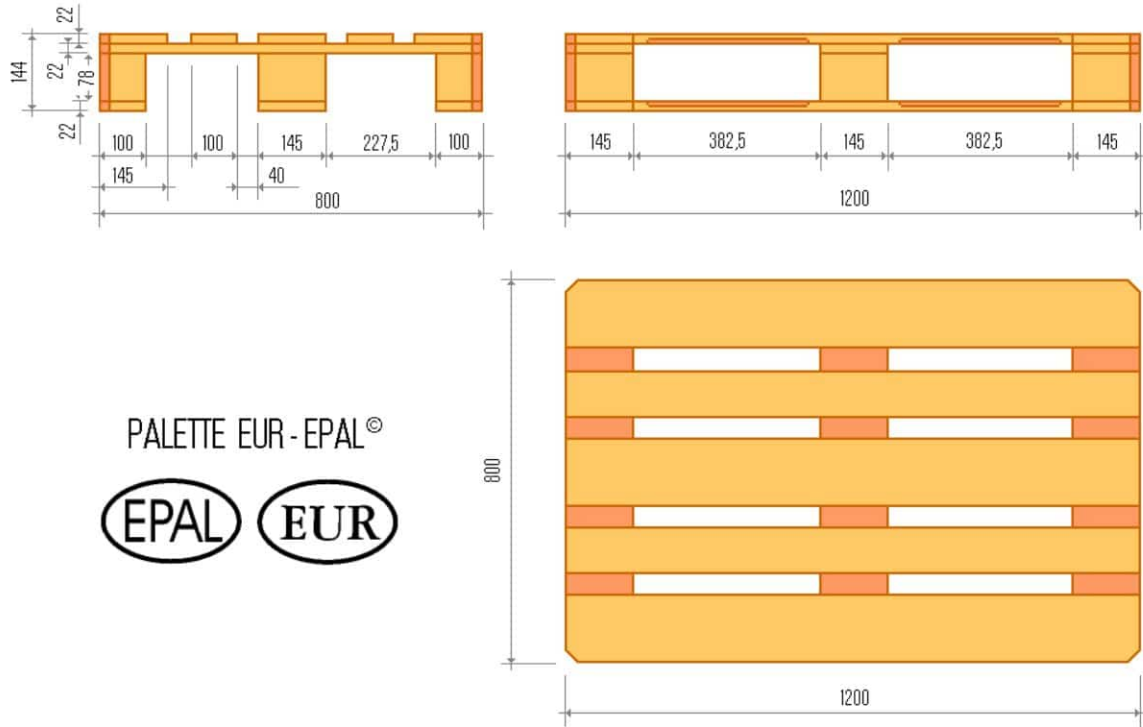


Figura 3. Dimensiones de euopalets (Fuente: EN)

Por especificación, el almacén debe contar con suficiente espacio para acomodar 1600 unidades de palets de tipo 1, 1600 unidades de palets de tipo 2, 5000 unidades de palets de tipo 3 y 3000 unidades de palets de tipo 4, lo que suma un total de 40,000 palets. Cada tipo de palet almacena una combinación de productos que se agrupan según categorías de acondicionamiento (Cond 1, Cond 2 y Cond 3), lo que resulta en una variación en el contenido de cada palet.

Además, es fundamental tener en cuenta la rotación diaria de las palets, que representa el número de entradas y salidas de productos en un día de trabajo. En conjunto, se esperan un total de 1500 entradas y 1500 salidas de palets en un día típico de operación en el almacén. Esta compleja dinámica de productos y movimientos dentro del almacén plantea un desafío clave al cual responde este proyecto.

Almacén de paletas								
	EU (mm)	H (mm)	Peso (kg)	Total unidades	Cond 1	Cond 2	Cond 3	E / S
								/ día
Paleta 1	800 x 1200 x	600	800	16000	50%	30%	20%	800
Paleta 2	800 x 1200 x	1000	800	16000	60%	30%	10%	400
Paleta 3	800 x 1200 x	1250	800	5000	60%	30%	10%	200
Paleta 4	800 x 1200 x	1500	800	3000	80%	-	20%	100
				40000				1500

Tabla 1. Datos del caso de estudio sobre almacén de paletas

Es importante destacar que el almacén opera en un horario de trabajo establecido de 12 horas y media al día. Las operaciones de entrada de mercadería se realizan desde las 7:00 am hasta las 19:00 pm, mientras que las operaciones de salida tienen lugar desde las 7:30 am hasta las 19:30 pm. Esto significa que al comienzo de la jornada, se dedica media hora exclusivamente a la recepción de productos, y al final del día, media hora se reserva para las salidas. El período restante, que comprende 11 horas y media, es un intervalo en el que tanto las entradas como las salidas ocurren de manera simultánea, como se detalla en la Tabla 2.

Horarios de entrada y salida	
1.	Entradas: de 7:00 a 19:00
2.	Salidas: de 7:30 a 19:30
3.	Salida de rutas: de 08:00 a 20:00

Tabla 2. Datos del horario de entrada y salida del almacén

En lo que respecta a las restricciones del proyecto, es esencial tener en cuenta varios factores clave que influyen en el diseño del almacén. En primer lugar, se establece que la altura máxima permitida es de 27 metros sobre el nivel del terreno. Además, se

contempla la posibilidad de una excavación de hasta 3 metros por debajo del nivel del terreno, lo que ofrece un margen de construcción vertical de 30 metros en total (consultar Tabla 3). Esta restricción en la altura del edificio es un factor crucial a considerar, ya que impactará en la capacidad de almacenamiento en altura y en la elección de equipos como los transelevadores.

En términos de la amplitud máxima del almacén, se fija un límite de 180 metros de longitud, lo que establece una dimensión horizontal máxima que debe respetarse. Por último, es importante mencionar que, en principio, no se impone una restricción de profundidad, lo que significa que se tiene cierta flexibilidad en cuanto a la expansión de la instalación en esa dimensión.

Restricciones	
1.	Alcance posible: 27 m
2.	Excavación posible: -3 m
3.	Ancho máximo del almacén: 180 m
4.	Profundidad: ilimitada

Tabla 3. Restricciones del caso de estudio

Estas restricciones físicas y dimensionales son fundamentales para delinear los parámetros del proyecto y garantizar que el almacén cumpla con las necesidades de almacenamiento y logística.

2.4. Diseño factible de la zona de almacenamiento

El diseño de la zona de almacenamiento se personaliza de acuerdo con las necesidades particulares del caso de estudio y el tipo de productos que se almacenan. Para maximizar la eficiencia del espacio y la organización de los productos, se emplean diversos tipos de estanterías y máquinas para el almacenamiento automático.

Con las especificaciones que se rigen dentro de la Norma Española UNE 58017 sobre la guía para el diseño estructural aplicables a todos los sistemas de almacenaje autoportante y Norma Española UNE 58912, que regula los estándares para los transelevadores y proporciona las pautas necesarias para el cálculo de sus mecanismos de accionamiento, se plantea un reto fundamental: el cálculo de las capacidades tanto estáticas como dinámicas del almacén. Esto implica una evaluación detallada del rendimiento del almacén en diferentes escenarios operativos. Estos cálculos no sólo son esenciales para cumplir con las normativas, sino que también garantizan la seguridad, la eficiencia y el funcionamiento óptimo de la instalación. La aplicación rigurosa de estos estándares proporciona una base sólida para el diseño y la operación del almacén.

2.4.1. Criterio de selección de componentes clave

Dentro del proyecto, ya que puede configurarse de muchas formas el diseño de almacén automatizado, se ha tenido que decidir qué componentes a utilizar como la selección del tipo de estanterías y la utilización de las máquinas a ser implementadas para las operaciones de almacenamiento dentro de las mismas estanterías.

2.4.1.1. Estanterías

Entre las opciones de estanterías se incluyen las estanterías de doble profundidad, que permiten almacenar productos en dos niveles en profundidad, lo que ahorra espacio valioso. La flexibilidad en el diseño de la zona de almacenamiento permite adaptar el almacén para garantizar una operación eficiente y cumplir con las demandas específicas del proyecto.

Se definió que las estanterías para la presente propuesta de diseño serían de doble profundidad. La selección de implementación de estas estanterías en un almacén

automático se basa en varios criterios que tienen como objetivo maximizar la eficiencia y la utilización del espacio en un almacén automatizado. Esto es ideal para maximizar la utilización del espacio en un almacén, ya que permite almacenar más productos en una misma área. La selección de estanterías de doble profundidad se justifica cuando el espacio es limitado o costoso y se necesita aprovecharlo al máximo. Asimismo, se deben considerar los patrones de rotación de inventario. Las estanterías de doble profundidad pueden ser adecuadas para productos con una rotación más lenta o que no se necesitan con tanta frecuencia. Los productos que se utilizan con menos frecuencia pueden colocarse en la parte posterior de la estantería, mientras que los de alta rotación se almacenan en la parte frontal para un acceso más rápido.

Las estanterías de doble profundidad son adecuadas para productos que tienen tamaños y dimensiones compatibles con este sistema. Es importante que los productos se ajusten de manera eficiente a la profundidad de las estanterías sin desperdiciar espacio. La elección de estanterías de doble profundidad debe estar en línea con los métodos de manipulación de productos. Pueden requerir equipos de manipulación especiales, como carretillas elevadoras de doble profundidad, para acceder a los productos ubicados en la parte posterior. La selección de estanterías de doble profundidad debe estar en consonancia con los equipos disponibles en el almacén (Kees Jan Roodbergen & Iris F.A. Vis, 2009).

Es esencial asegurarse de que las estanterías de doble profundidad tengan la capacidad de carga necesaria para los productos que se almacenarán en ellas. Se deben seguir las directrices del fabricante y considerar la seguridad en todo momento. La elección de estanterías de doble profundidad debe tener en cuenta los requisitos de acceso a los productos. Si se necesita un acceso frecuente y rápido a los productos, este sistema puede no ser la mejor opción, ya que se accede a los productos posteriores con menos frecuencia.



Figura 4. Estanterías de doble profundidad (Fuente: RackingSystem)

2.4.1.2. Transelevadores

En los almacenes autoportantes los transelevadores y sistemas de paletizado automatizado son esenciales. Estos equipos se desplazan verticalmente y horizontalmente para acceder a los diferentes niveles de estanterías y manipular palets. Existen diferentes tipos de transelevadores que responden a diversas necesidades dependiendo de las especificaciones planteadas. Para el presente trabajo, se eligió la implementación de transelevadores monocolumna en los respectivos pasillos de las estanterías.

Los transelevadores monocolumna son sistemas de manipulación de materiales que se utilizan en almacenes automatizados o autoportantes para la gestión y almacenamiento de productos. Su característica distintiva es su diseño de una sola columna vertical que sostiene la unidad de manipulación y carga. La característica más sobresaliente de los transelevadores monocolumna es su diseño vertical de una sola columna. Esta columna actúa como soporte principal y guía para la unidad de manipulación, que se desplaza verticalmente para acceder a los niveles de almacenamiento en estanterías de gran altura. El diseño monocolumna permite una utilización eficiente del espacio vertical en el almacén, lo que es especialmente valioso en almacenes de gran altura donde cada metro cúbico cuenta.

Estas máquinas se utilizan comúnmente para la manipulación de palets o cargas unitarias. Su unidad de manipulación puede incluir horquillas, pinzas o sistemas personalizados para agarrar y mover los productos de manera eficiente. Paralelamente, estos sistemas tienen la capacidad de desplazarse tanto vertical como horizontalmente. Esto les permite acceder a los diferentes niveles de estanterías y navegar a lo largo de los pasillos del almacén con precisión.

Los transelevadores monocolumna suelen ser completamente automatizados y están integrados con sistemas de control avanzados. Esto permite una operación precisa y eficiente, lo que es esencial para la gestión de almacenes automatizados. Estos sistemas son capaces de realizar movimientos rápidos y precisos, lo que es esencial para cumplir con los plazos de entrega y mantener una alta eficiencia en la manipulación y el almacenamiento de productos.

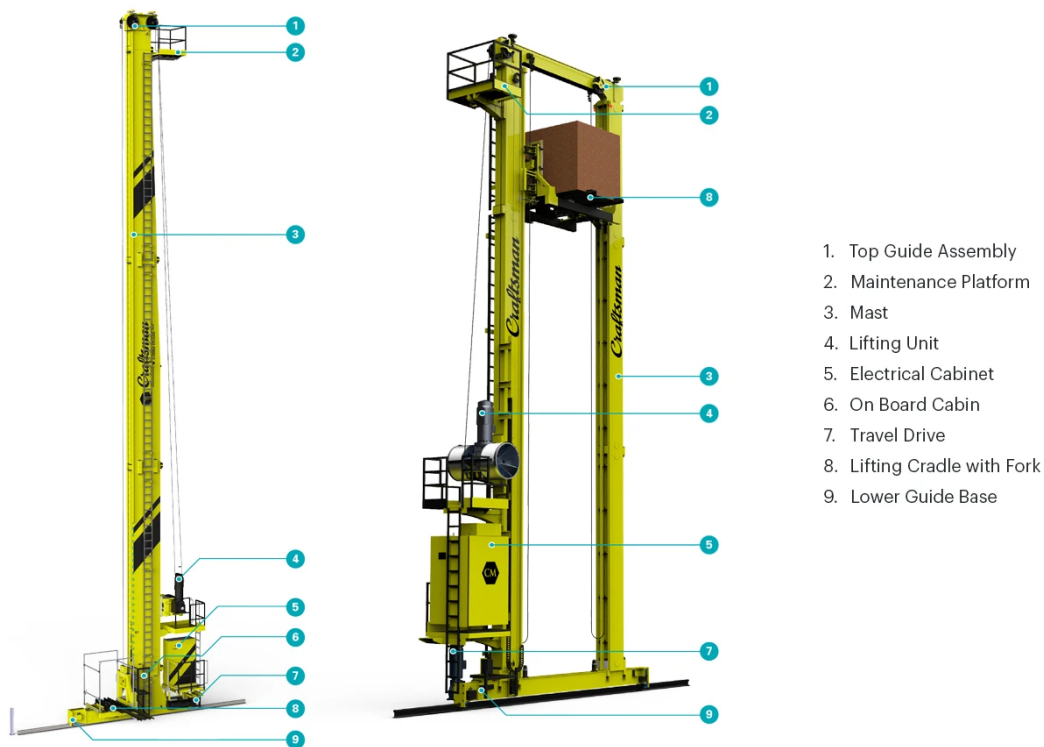


Figura 5. Transelevador monocolumna (Fuente:Craftsman)

2.5. Layout preliminar

Para evaluar las capacidades, tanto en términos estáticos como dinámicos, es esencial definir previamente los componentes fundamentales de este almacén. Como se mencionó anteriormente, sus dimensiones son notables debido a su volumen, lo que lo califica como un almacén automático autoportante. En este escenario, el sistema de paletizado automático representa un enfoque de vanguardia en la gestión de almacenes, operando bajo un control computarizado que maximiza la eficiencia. Este sistema de almacenamiento se basa en estantes fijos de doble profundidad asistidos por transelevadores monocolumna, que se desplazan entre los estantes a lo largo de pasillos especialmente diseñados. Cada pasillo se asigna a un transelevador, encargado de llevar a cabo tanto las operaciones de entrada como de salida de paletas de la zona de almacenamiento.

Lo que hace que este sistema sea verdaderamente excepcional es su capacidad para manipular paletas sin intervención humana. En este sentido, se lo considera completamente automático, lo que significa que no requiere la presencia de operadores para llevar a cabo sus operaciones. Esta automatización integral no solo optimiza la eficiencia operativa, sino que también garantiza un alto nivel de precisión y seguridad en el manejo de productos, lo que es fundamental para el éxito de este proyecto de almacén (Kees Jan Roodbergen & Iris F.A. Vis, 2009).

2.5.1. Consideración de factores iniciales

El proceso de diseño inicial del almacén comienza con la meticulosa definición de las dimensiones de los estantes. Esto implica establecer con precisión tanto el ancho como el espesor de los puntales, así como las dimensiones de los largueros y los travesaños. Estas medidas se determinan de acuerdo con las especificaciones y pautas establecidas en la Norma Española UNE 58017, que rige los estándares y requisitos esenciales para el diseño de estanterías de almacenamiento. Las medidas precisas y la

calidad de los componentes estructurales juegan un papel fundamental en la resistencia y durabilidad de los estantes. Por lo tanto, el diseño preliminar se basa en una combinación de experiencia en ingeniería y el cumplimiento riguroso de las normativas aplicables, lo que sienta las bases para un almacén confiable y eficiente.

Dentro de una estantería, hay múltiples componentes, pero en este proyecto en particular, por razones de practicidad, nos enfocaremos en los elementos esenciales que conforman la estructura y garantizan el almacenamiento seguro de la carga. Estos componentes clave son los puntales (bastidores), los largueros y los travesaños.

Los puntales son las estructuras metálicas verticales que conforman la base de las estanterías, proporcionando la resistencia necesaria para soportar el peso de las cargas. Los largueros, por otro lado, son estructuras metálicas horizontales que se conectan a los puntales, formando las plataformas en las que se colocan las paletas. Los travesaños son elementos adicionales que se ubican entre los largueros, reforzando la estructura y brindando soporte para el peso de las cargas de los palets (consultar Figura 6). Definir con precisión las dimensiones de estos componentes es un paso fundamental para realizar los cálculos necesarios en el desarrollo del dimensionado de las estanterías.

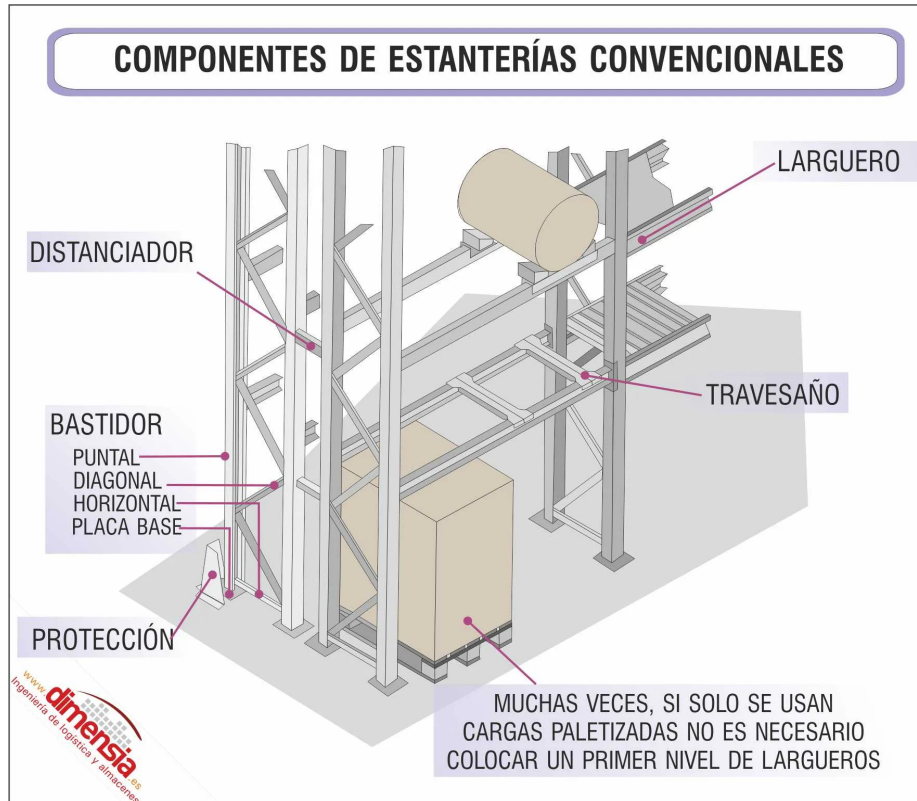


Figura 6. Componentes de estanterías convencionales (Fuente: Dimensia)

En lo que respecta a la colocación estratégica de las paletas, se ha tomado la decisión de adoptar un enfoque de posicionamiento transversal. Esto significa que el ancho de las paletas se alinearán en dirección longitudinal a lo largo de los pasillos del almacén. Esta elección se basa en consideraciones prácticas y logísticas que impacta directamente en la eficiencia del espacio.

Además, como parte de la estrategia de almacenamiento, se ha definido que se colocarán dos paletas por cada celda de estantería (M2): cada larguero diseñado para el almacenamiento tendrá la capacidad de alojar dos paletas de manera eficiente, lo que optimiza el espacio y maximiza la capacidad de almacenamiento sin comprometer la accesibilidad a los productos. Esta elección en la disposición de las paletas no solo se alinea con los objetivos de eficiencia en la gestión del inventario, sino que también se ajusta al diseño estructural del almacén y a las capacidades de carga previamente establecidas.

Dicho esto, el paso inicial para el desarrollo del diseño de la estantería es definir el espacio que requiere cada paleta longitudinalmente para definir la longitud total del recinto seguido de la cantidad de pasillos en los cuales se puede distribuir las estanterías.

La figura que se presenta a continuación (consultar Figura 7) es un dibujo a escala que representa dos celdas de almacenamiento, cada una conteniendo dos paletas (M2) junto con sus respectivas cargas, que en este caso tienen una altura de 600 mm, ya que se encuentran en los niveles más bajos de las estanterías. La vista lateral del pasillo nos muestra las paletas y sus cargas (representado en amarillo) en su orientación de ancho, lo que significa que tienen una medida de 800 mm en esta dimensión.

En cuanto al espacio entre las paletas y el espacio entre las paletas y los puntales se ha establecido que ambos tendrán el mismo valor, que equivale a 100 mm. Esto implica que la longitud total del larguero (representado en color anaranjado) será de 1900 mm. Además, se ha definido que el ancho del larguero será de 140 mm.

Los puntales (señalados en azul) también tienen un ancho de 140 mm, lo que significa que la medida total del larguero, sumado a dos veces la mitad del ancho del puntal, equivale a 2040 mm. También se ha determinado que debe haber una holgura de 125 mm entre la carga y el larguero para permitir un fácil acceso y retiro de la carga.

Por último, en las estructuras de las estanterías de los almacenes automáticos autoportantes, se establece una altura estándar del inicio de los largueros, que en este caso es de 260 mm.

En resumen, si consideramos la disposición longitudinal de las paletas, se requieren un total de 1020 mm de largo para cada paleta. Esto se debe a que, en cada celda que tiene la capacidad de alojar dos paletas, desde una perspectiva lateral, el larguero tiene

una longitud de 1900 mm. Además, se debe sumar la medida de dos veces la mitad del ancho de los puntales, ya que esta contribuye a la estructura total de la estantería. Este dato es esencial para calcular la longitud total requerida para el almacén, ya que influye directamente en la disposición y distribución de las paletas a lo largo de los pasillos. La precisión en este cálculo es fundamental para garantizar que el espacio del almacén sea óptimamente aprovechado y que se cumplan los requerimientos de almacenamiento y flujo logístico.

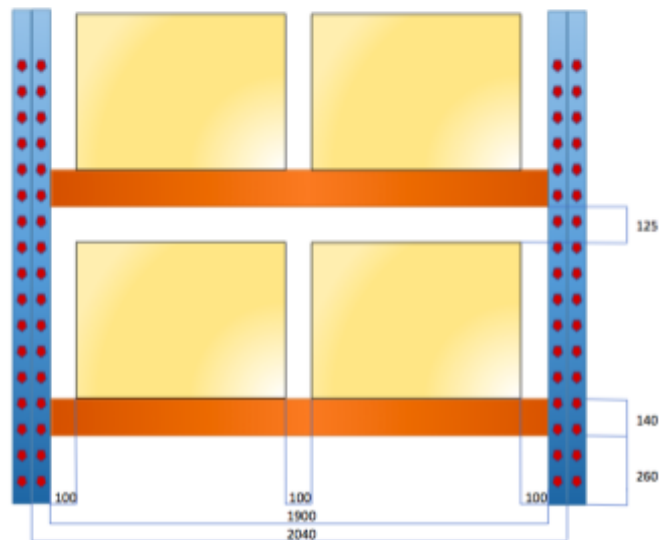
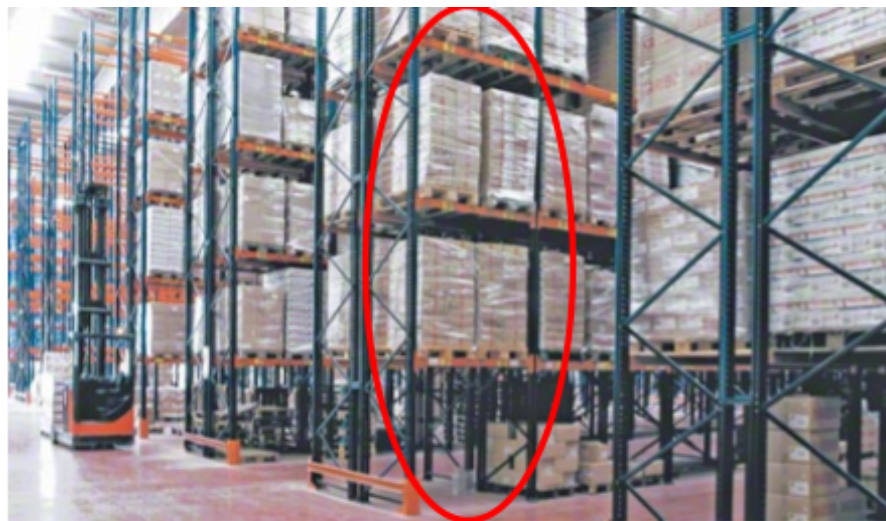


Figura 7. Parte inferior de un estante visto lateralmente desde el pasillo

2.5.2. Cálculo de capacidades

La capacidad estática y dinámica de las estanterías en un almacén automático abarca un conjunto esencial de características que permiten no solo el almacenamiento, sino también la distribución y el manejo seguro y eficiente de una amplia gama de tipos de carga. Esto no solo se traduce en la capacidad de soportar el peso de las mercancías en reposo, sino también en la habilidad para afrontar los retos dinámicos que implica el movimiento constante de productos dentro y fuera de las estanterías, lo que garantiza un flujo de trabajo óptimo.

Para asegurar que las estanterías sean capaces de cumplir con estas demandas, es esencial llevar a cabo un diseño y cálculo preciso. Esto implica la selección de componentes clave, así como la consideración de factores iniciales. Entre otros factores, se deben tener en cuenta el cumplimiento de normativas, estándares industriales y las especificaciones proporcionadas por el fabricante de las estanterías, que detallan las capacidades de carga segura y las limitaciones estructurales.

2.5.2.1. Capacidad estática

La capacidad estática de las estanterías está intrínsecamente ligada a la dimensión de las mismas, lo que asegura que se adecúen a los requisitos de espacio según el tipo de paletas utilizado. En otras palabras, es importante establecer las dimensiones de la zona de almacenamiento de manera que respeten rigurosamente las restricciones previamente definidas en el contexto del caso de estudio. Esto garantiza una disposición eficaz y segura de las cargas, optimizando la utilización del espacio disponible en el almacén.

Conforme se detalla en la Tabla 4, el proceso de determinación de la capacidad estática de las estanterías comienza con un análisis de las proporciones de paletas, permitiendo una visión general de la distribución de las unidades según el tipo de

paletas utilizadas. Esto proporciona un punto de partida esencial para comprender la disposición de las cargas y optimizar la eficiencia de almacenamiento.

Tipo de paleta	Total unidades	% unidades por paleta
Paleta 1	16000	40.00%
Paleta 2	16000	40.00%
Paleta 3	5000	12.50%
Paleta 4	3000	7.50%
	40000	

Tabla 4. Porcentaje de los tipo de paletas con respecto al total

Como es evidente, existen diversas estrategias para la disposición y agrupación de paletas. En el contexto de este estudio, se ha optado por una distribución homogénea transversal en todo el almacén. Esto implica que, a lo largo de la extensión del almacén, los diferentes tipos de paletas se encontrarán distribuidos en distintos niveles. Para responder a la demanda superior de los tipos de paletas 1 y 2, se ha decidido ubicarlos en los niveles inferiores de las estanterías. Por el contrario, las paletas de tipo 3 y 4 se dispondrán en los niveles superiores de forma secuencial (consulte la Figura 8), dado que experimentan una demanda más baja y una rotación de cargas reducida.

El primer criterio que orientó el desarrollo de este caso de estudio se centró en el aprovechamiento del espacio vertical disponible, lo que implicaba que la altura del almacén se aproxima a los 30 metros. Para lograrlo, se llevó a cabo un análisis minucioso que tomó en cuenta las dimensiones de cada tipo de paleta y sus alturas, el ancho de los largueros y el espacio necesario entre la parte superior de la carga y el larguero en cada celda. Al sumar estos elementos, se determinó cuánto espacio requería cada tipo de paleta en el sentido vertical. Con el fin de maximizar la utilización de la altura disponible, se propuso la siguiente disposición: 10 niveles para las paletas tipo 1, 10 niveles para las paletas tipo 2, 3 niveles para las paletas tipo 3 y 2 niveles para las paletas tipo 4, lo que resultó en una altura total de 29,4 metros, como se detalla en la Tabla 5. La Figura 8 ilustra con precisión esta distribución en altura, con los niveles proporcionados en consonancia con las alturas y cantidades establecidas.

	H (mm)	Espacio del ancho de los larguero más la holgura de seguridad (mm)	Espacio vertical a considerar (mm)	Niveles	Altura (m)
Paleta 1	600	265	865	10	8,65
Paleta 2	1000	265	1265	10	12,65
Paleta 3	1250	265	1515	3	4,55
Paleta 4	1500	265	1765	2	3,53
				25	29,4

Tabla 5. Determinación de los pisos de la estantería y la altura total

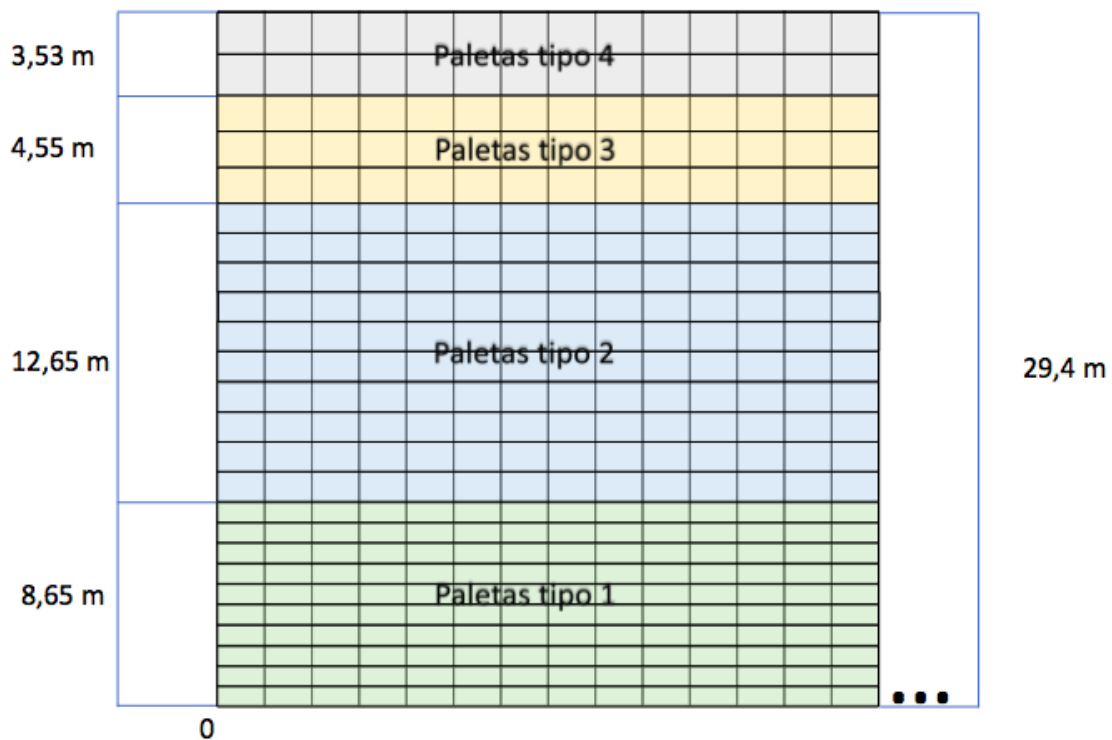


Figura 8. Vista lateral de la altura de las estanterías

Una vez establecida la altura de la estantería, el siguiente paso sería calcular la longitud del almacén. Además, es esencial determinar la cantidad de pasillos

necesarios dentro de la zona de almacenamiento, donde se lleva a cabo el proceso de almacenaje con la ayuda de los transelevadores monocolumna, que operan de manera independiente y simultánea en cada pasillo. Es importante destacar que este almacén cuenta con un sistema de estanterías de doble profundidad, lo que significa que un transelevador atiende a cuatro filas de estanterías, dos a cada lado del pasillo.

Para realizar este cálculo, se comenzó por determinar la cantidad de paletas necesarias para cada tipo de paleta en cada pasillo. Luego, se multiplicó este número por la longitud requerida para cada paleta, considerando las dimensiones previamente especificadas. En consecuencia, como se observa en la Tabla 6, se evidencia que una configuración de la zona de almacenaje con tres pasillos podría considerarse como la primera elección factible, dado que satisface la condición de longitud del almacén en la que se acota que la longitud debe ser como máximo de 180 metros, teniendo en cuenta las estanterías de doble profundidad y tratando de ajustar la distribución de las áreas implicadas a las dimensiones restringidas en el caso de estudio.

	Total unidades	Niveles	1 pasillo		2 pasillos		3 pasillos		4 pasillos	
			paletas	metros	paletas	metros	paletas	metros	paletas	metros
Paleta 1	16000	10	400	408	200	204	133,33	136	100	102
Paleta 2	16000	10	400	408	200	204	133,33	136	100	102
Paleta 3	5000	3	417	417	208,33	212,50	138,89	141,67	104,17	106,25
Paleta 4	3000	2	375	382,50	187,50	187,50	125	127,5	93,75	95,63

Tabla 6. Determinación de longitud total de la estantería

Considerando el número de pasillos a implementar en la estructura del almacén, podemos determinar la anchura de las estanterías. Para este diseño, es crucial tener en cuenta las dimensiones de las estanterías desde una vista frontal, como se muestra en la Figura 9. En esta representación a escala, se observan dos estanterías de doble profundidad con un pasillo en el medio por donde se desplaza el transelevador monocolumna que realiza las operaciones de carga y descarga de paletizado automático.

Siguiendo la Norma Española UNE 58912, se estableció que la amplitud del pasillo debe ser de 1450 mm de ancho, considerando que el transelevador monocolumna tiene un ancho de 1400 mm. Teniendo en cuenta que las horquillas parten a 25 mm de la arista del larguero y recorren 1325 mm hasta llegar al extremo opuesto de la paleta en posición transversal (1200 mm), se obtiene una holgura de seguridad de 100 mm entre la arista del larguero y la paleta.

Además, considerando que para estanterías de doble profundidad se requiere un recorrido de 1300 mm más que las de simple profundidad, y restando la medida transversal de la paleta, se obtiene otra holgura de seguridad de 100 mm entre paletas. Con todos estos datos, se puede calcular que la anchura total que ocupa un pasillo con sus respectivas estanterías de doble profundidad es de 6,85 metros. Para un diseño de la zona de almacenaje con una configuración de tres pasillos, las estanterías tendrían una anchura total de 20,55 metros.

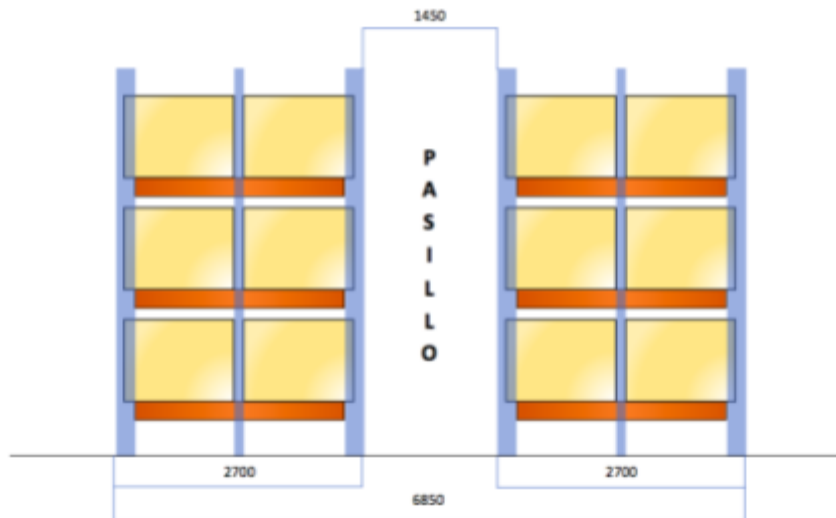


Figura 9. Vista frontal de la estantería

Es importante destacar que estos cálculos pueden ser abordados de diversas maneras, y la elección depende del enfoque aplicado y de la coherencia entre el diseño y su capacidad. Se deben considerar tanto las restricciones previamente definidas como las normativas establecidas para el cálculo de los mecanismos de accionamiento. La clave reside en garantizar que el diseño resultante cumpla con los estándares de seguridad y eficiencia, al mismo tiempo que se ajusta a las especificaciones y necesidades del proyecto.

2.5.2.2. Capacidad dinámica

La capacidad dinámica viene determinada por los tiempos de desplazamiento ejecutados por las monocolumnas. Estos tiempos están directamente vinculados a las características de los transelevadores y los componentes que realizan los movimientos necesarios para el transporte de una carga. Esta operación comprende el trayecto desde la recepción de la paleta hasta su posicionamiento en el recinto designado, tanto en la ida como en la vuelta, en lo que se denomina ciclo simple. Además, se considera el ciclo combinado, que incluye la recogida de otra paleta adicional mientras la monocolumna se encuentra dentro del silo y su transporte hacia la entrada de la zona de almacenamiento.

A continuación, se presentan las gráficas que ilustran estos recorridos, tanto para el ciclo simple (consultar Figura 10) como para el ciclo combinado (consultar Figura 11). Estos gráficos proporcionan una representación visual de los tiempos de desplazamiento, lo que es esencial para evaluar y optimizar la eficiencia de las operaciones de transporte en el almacén.

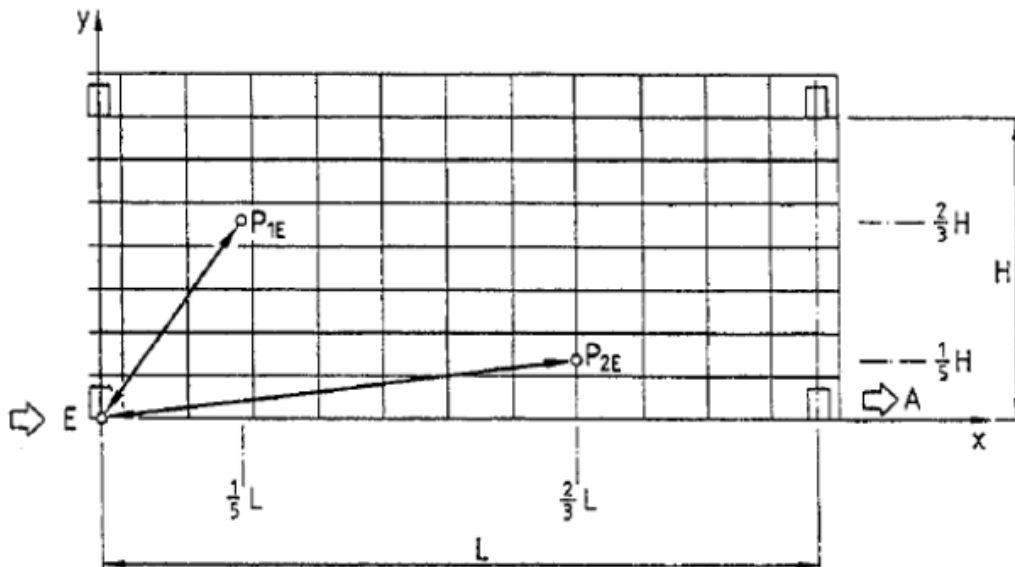


Figura 10. Ciclo de movimientos simples, proceso de entrada y salida en almacenaje

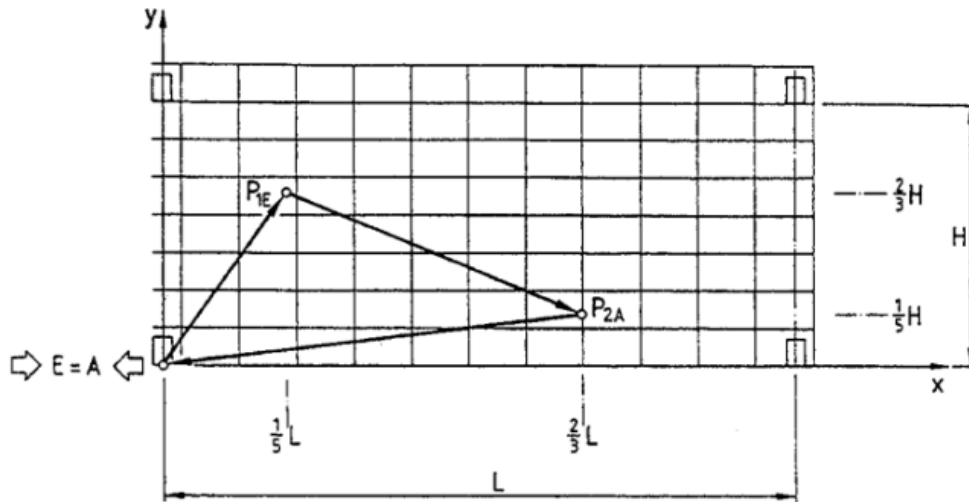


Figura 11. Ciclo de movimientos combinados, proceso de entrada y salida en almacenaje

Para obtener los resultados de las capacidades dinámicas, se requirió de la consideración de las especificaciones de los movimientos de los transelevadores monocolumna y sus horquillas adherentes, detallados en la Tablas 4 y la Tabla 5. Estas especificaciones establecen límites en la dinámica de velocidad y aceleración de dichos componentes, lo que resultó esencial para llevar a cabo los cálculos relacionados con el recorrido de los transelevadores en los pasillos.

MONOCOLUMNA	
Características	
Carga máxima admitida	1000 kg
Velocidad de traslación máxima	180 m/min
Aceleración en traslación máxima	0,45 m/s ²
Velocidad elevación máxima	54 m/min
Aceleración en elevación máxima	1 m/s ²

Tabla 7. Características de las monocolumnas

HORQUILLA				
Características	Simple fondo		Doble fondo	
Dimensiones horquilla para cargas 1 kg	1,3	m	1,3	m
Dimensiones horquilla para cargas 1.5 kg	1,35	m	1,35	m
Recorrido de salida retráctil horquilla	1,425 + 50	m	2,800 + 50	m
Altura x anchura de la horquilla	65 x 170	mm	70 x 180	mm
Velocidad de despliegue con carga máx.	30	m/min	42	m/min
Velocidad de despliegue sin carga máx.	64	m/min	90	m/min
Aceleración con/sin carga	0,8 / 1,5	m/s ²	0,8 / 1,5	m/s ²
Desnivel entre 1 y 2 profundidad		-	150	mm
Velocidad de despliegue con carga máx.	0,5	m/s	0,7	m/s
Velocidad de despliegue sin carga máx.	1,067	m/s	1,5	m/s

Tabla 8. Características de las horquillas de las monocolumnas

Con los resultados obtenidos con respecto a la capacidad estática de las estanterías, a continuación, se procede a realizar los respectivos cálculos para desarrollar la capacidad dinámica. Es importante destacar que, según la norma FEM 9.851 sobre los datos de rendimiento de un sistema de paletizado automático (tiempo de ciclo), el cálculo del rendimiento se basará en dos puntos clave dentro del sistema: el punto P1 ($\frac{1}{5} L$, $\frac{2}{3} H$) y el punto P2 ($\frac{2}{3} L$ y $\frac{1}{5} H$) como se ilustra en la Figura 10 y 11. Aquí, "L" representa la longitud de la estantería, mientras que "H" corresponde la distancia desde la parte inferior del primer piso de la estantería hasta la parte superior de la estantería.

Siguiendo los criterios previamente definidos, en el contexto de este caso práctico, se han obtenido los resultados que se presentan en la Tabla 9 en el que se considera la longitud definida en la sección previa sobre la dimensión que tendría la zona de almacenaje con la implementación de tres pasillos. Estos resultados son esenciales para llevar a cabo los cálculos de recorrido, ya que proporcionan las coordenadas necesarias para determinar los tiempos de desplazamiento de las cargas.

Puntos	Coordenadas	
	X (m.)	Z (m.)
0		
P1	$\frac{1}{3} L = 28,33$	$\frac{2}{3} H = 19,58$
P2	$\frac{2}{3} L = 94,44$	$\frac{1}{3} H = 5,88$

Tabla 9. Coordenadas de los puntos P1 y P2

Una vez definidos los dos puntos de referencia dentro del sistema, procedemos a calcular los tiempos necesarios para los movimientos realizados tanto por las horquillas como por los transelevadores monocolumna. En este proceso, nos basamos en los criterios establecidos en las Tablas 7 y 8, así como en las especificaciones de los accionamientos que incluyen aceleración, desaceleración, distancia, tiempo y velocidad de los componentes involucrados.

Dado que los accionamientos de los recorridos de las componentes siguen un patrón de movimiento uniformemente acelerado, se asume que tanto la aceleración como la desaceleración son constantes y de igual magnitud. Cuando se alcanza la velocidad máxima, la componente deja de acelerar y mantiene una velocidad constante hasta que inicia la desaceleración, como se ilustra en la Figura 12.

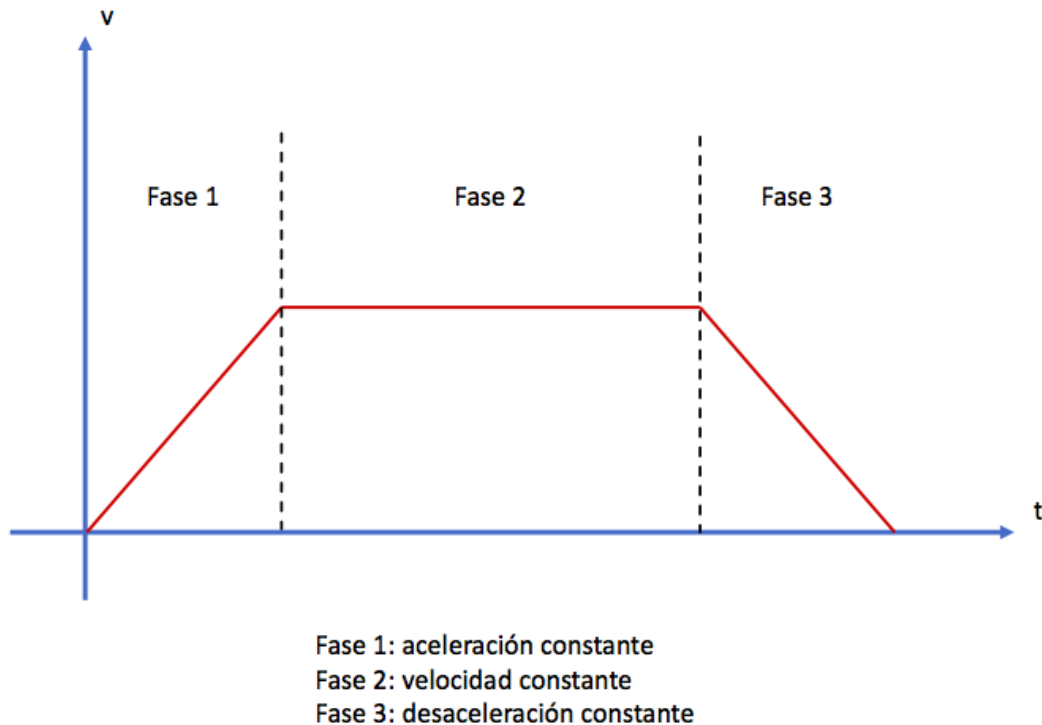


Figura 12. Gráfica velocidad-tiempo

No todos los movimientos recorren la misma distancia ni se desplazan a la misma velocidad, razón por la cual se puede identificar tres categorías de desplazamiento: el primero es el movimiento normal o subcrítico, el segundo es el movimiento crítico, y el tercero es el movimiento hipercrítico, como se ilustra en la Figura 13.

En el desplazamiento normal o subcrítico, se avanza una determinada distancia con una aceleración constante hasta alcanzar la máxima velocidad. Luego, el elemento se desplaza durante un cierto tiempo a velocidad constante y finaliza el recorrido con una desaceleración constante, manteniendo el mismo valor que la aceleración inicial.

En el caso de un desplazamiento crítico, el recorrido comienza con una aceleración constante hasta llegar a la velocidad máxima, seguida de una desaceleración inmediata después de alcanzar la velocidad máxima.

En el tercer y último caso, el desplazamiento es hipercrítico, donde el elemento inicialmente avanza una distancia con aceleración constante, pero no llega a la velocidad máxima posible debido a que el recorrido es corto. Como resultado, el elemento inicia la desaceleración antes de alcanzar la velocidad máxima y recorre la misma distancia que durante la aceleración.

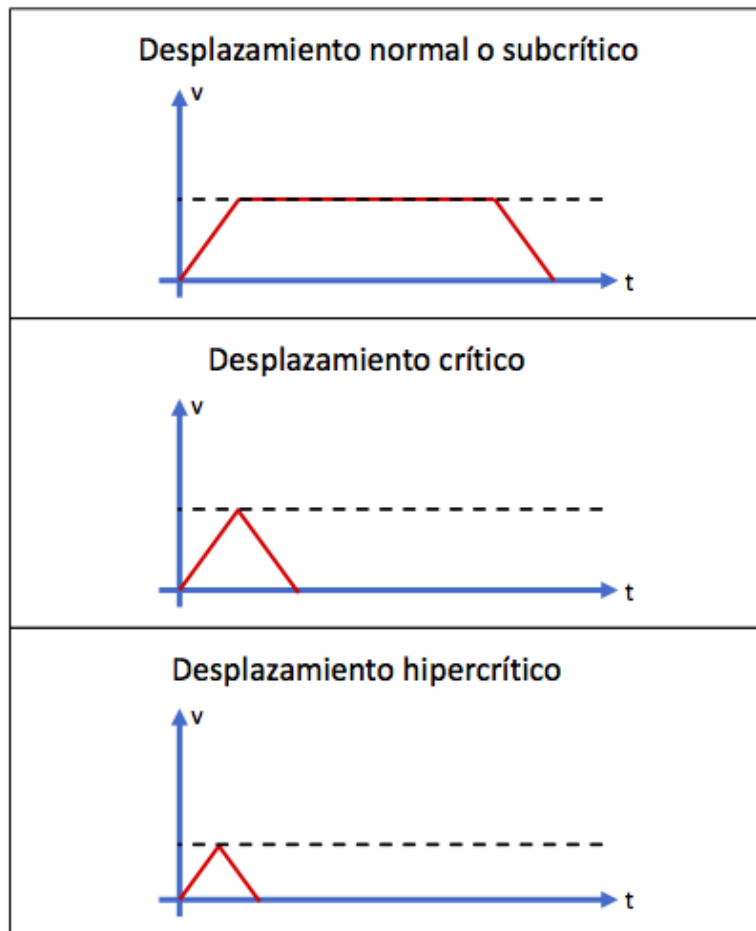


Figura 13. Gráficas velocidad-tiempo de los 3 tipos de posibles desplazamientos

Es importante destacar que para obtener los resultados referentes a la capacidad dinámica, se emplearon principalmente las fórmulas del movimiento uniformemente acelerado, tal como se muestra a continuación. Estas fórmulas fueron fundamentales para calcular los tiempos de los desplazamientos de las horquillas, teniendo en cuenta tanto la velocidad como la aceleración, así como los movimientos verticales y transversales de los transelevadores monocolumna.

Fórmulas del movimiento uniformemente acelerado:

1. $a = \frac{Vf - Vo}{t}$
2. $Vf = (a \cdot t)$
3. $Vf^2 = Vo^2 + (2 \cdot a \cdot d)$
4. $d = (Vo \cdot t) + \left(\frac{a \cdot t^2}{2}\right)$

donde:

- a: aceleración
- Vf: Velocidad final
- Vo: Velocidad inicial
- t: tiempo
- d: distancia

Con el propósito de presentar de manera comprensible el proceso de los cálculos, se exhibirán los resultados en una secuencia cronológica de pasos que reflejarán los movimientos generados tanto en un ciclo simple como en un ciclo combinado. Esta estructura proporcionará una visión más clara y detallada de los procedimientos involucrados en ambas operaciones, lo que, a su vez, simplificará la interpretación de los resultados, fomentando una comprensión más sólida de los mismos.

- **Primer paso:** Recogida de la carga

El proceso de recogida de una carga comienza cuando la paleta se posiciona en la cinta transportadora, justo en frente de las horquillas del transelevador monocolumna. Durante este procedimiento, las horquillas del transelevador deben sostener la paleta cargada mediante movimientos de retracción y contracción, acompañados de un leve desplazamiento vertical controlado por la monocolumna. Esto permite elevar la paleta cargada de manera segura y eficiente.

- Primer movimiento: Retracción de las horquillas sin carga

Una vez que la paleta se encuentra en la posición designada para su recogida, las horquillas se retraen aproximadamente 1,325 metros por debajo de la paleta. Este recorrido es necesario para sortear el espacio ocupado por la propia carga, el espacio entre el transelevador y la estantería, y el espacio entre la arista del larguero, garantizando así un proceso de recogida eficiente y sin obstrucciones.

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia de recorrido horquilla	1,325	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,711	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,379	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	0,566	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	0,531	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	1,953	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 10. Primer movimiento del paso uno

- Segundo movimiento: Elevación monocolumna

La horquillas ya posicionadas por debajo de la paleta, la monocolumna se eleva para permitir que las horquillas sujeten la carga de la paleta. Este movimiento se clasifica como un desplazamiento hipercrítico, ya que, debido a su brevedad, no alcanza la velocidad máxima y no llega al punto de la trayectoria donde se mantendría en una velocidad constante. En su lugar, experimenta una desaceleración cuando alcanza la mitad del recorrido.

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia de elevación recorrida	0,050	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,900	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	-0,760	<i>m</i>	$d = D - d'$
Distancia recorrida en desaceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Tiempo aceleración real	0,224	<i>s</i>	$t'' = \frac{d}{v}$
Tiempo desaceleración real	0,224	<i>s</i>	$t'' = \frac{d}{v}$
Tiempo total	0,447	s	$T = 2 \cdot t''$

Tabla 11. Segundo movimiento del paso uno

- Tercer movimiento: Contracción de las horquillas con carga

Cuando las horquillas sostienen la paleta cargada, ésta se contrae para que regrese a la posición contigua a la monocolumna. Este paso es similar al primer desplazamiento con la diferencia que, en este caso el accionamiento de las horquillas están sometidas a la fuerza de gravedad generada por la carga de la paleta, razón por la cual la velocidad disminuye y el tiempo en recorrer su trayectoria aumenta.

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia de recorrido horquilla	1,325	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,625	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,156	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	1,013	<i>m</i>	$d = D - d'$

Tiempo en velocidad constante	2,025	s	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	3,275	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 12. Tercer movimiento del paso uno

- Cuarto movimiento: Descenso monocolumna

La monocolumna desciende a la posición inicial para que finalmente la paleta cargada se mueva a la posición asignada. Prácticamente, se repite el segundo movimiento ya que para ambos pasos se consideran la misma velocidad de elevación independientemente si ascienda o descienda el transelevador.

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia de elevación recorrida	0,050	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,900	s	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	-0,760	<i>m</i>	$d = D - d'$
Distancia recorrida en desaceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Tiempo aceleración real	0,224	s	$t'' = \frac{d}{v}$
Tiempo desaceleración real	0,224	s	$t'' = \frac{d}{v}$
Tiempo total	0,447	s	$T = 2 \cdot t''$

Tabla 13. Cuarto movimiento del paso uno

- **Segundo paso:** Traslado de la carga a posición dentro de la estantería

El siguiente paso es el traslado de la carga a su ubicación correspondiente. Como se ha mencionado anteriormente y como se muestra en la Figura 10 y 11, la carga puede

hacer tanto un recorrido de ciclo simple como de ciclo combinado. Para ambas opciones se consideran las dos coordenadas dentro del plano transversal de las estanterías para poder calcular el tiempo de recorrido promedio que ejecuta el transelevador en hacer dichas trayectorias. Como se puede anticipar, la monocolumna hace dos movimientos simultáneos dentro del plano cartesiano: el de traslación y el de elevación. Dentro de esos dos movimientos se escoge y se toma como referencia el desplazamiento de mayor tiempo.

El primer y segundo movimiento corresponde exclusivamente a movimientos para el ciclo simple. Cada uno de estos movimientos, implica realizar un desplazamiento de ida y vuelta para que cumplan con el ciclo señalado, razón por la cual en los cálculos posteriores para poder definir el tiempo total del ciclo se considera dos veces el tiempo de estos desplazamientos.

Por otro lado, el ciclo combinado está compuesto por los tres movimientos presentados a continuación: primero la carga se desplaza del punto 0 al punto P1, después de dejar la carga el transelevador descargado se traslada al punto P2 para recoger la siguiente paleta. Finalmente, del punto P2 la carga se desplaza hasta el punto 0 nuevamente para proceder a la posterior descarga de la misma.

- Primer movimiento: Del punto 0 al P1

- En traslación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje X	28,333	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	6,667	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	10,000	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$

Distancia a velocidad constante	8,333	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	2,778	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	16,111	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 14. Primer movimiento del paso dos en traslación

■ En elevación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje Z	19,583	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,900	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	18,773	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	20,859	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	22,659	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 15. Primer movimiento del paso dos en elevación

En esta trayectoria se considera el desplazamiento en elevación correspondiente a 16,1 segundos.

- Segundo movimiento: Del punto 0 al P2

■ En traslación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje X	94,444	<i>m</i>	<i>D</i>

Tiempo aceleración	6,667	s	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	10,000	m	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	74,444	m	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	24,815	s	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	38,148	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 16. Segundo movimiento del paso dos en traslación

■ En elevación

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje Z	5,875	m	D
Tiempo aceleración	0,900	s	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	m	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	5,065	m	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	5,628	s	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	7,428	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 17. Segundo movimiento del paso dos en elevación

En esta trayectoria se considera el desplazamiento en traslación correspondiente a 38,2 segundos.

- Tercer movimiento: Del punto P1 al P2

■ En traslación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje X	66,111	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	6,667	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	10,000	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	46,111	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	15,370	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	28,704	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 18. Tercer movimiento del paso dos en traslación

■ En elevación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje Z	13,708	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,900	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	12,898	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	14,331	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	16,131	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 19. Tercer movimiento del paso dos en elevación

En esta trayectoria se considera el desplazamiento en traslación correspondiente a 28,7 segundos.

- **Tercer paso:** Dejar la carga en el recinto asignado

Cuando la carga alcanza su posición de destino, tiene la opción de dirigirse a dos ubicaciones, dado que se trata de una estantería de doble profundidad. Si la carga se coloca en la posición de simple profundidad, su recorrido es idéntico al primer paso, ya que la distancia desde la cinta transportadora hasta la monocolumna coincide con la distancia desde la estantería hasta la monocolumna. En caso que las horquillas efectúen un recorrido de doble profundidad, la diferencia radica únicamente en los tiempos de los movimientos de retracción y contracción de las horquillas.

A continuación, se presentan los resultados de los movimientos de las horquillas en el escenario de recorrido de doble profundidad:

- Primer movimiento: Retracción de las horquillas en doble profundidad con carga

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia de recorrido horquilla	2,625	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,815	<i>s</i>	$t' = \frac{V}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,306	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	2,013	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	2,875	<i>s</i>	$t = \frac{d}{V}$
Tiempo total	4,625	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 20. Primer movimiento del paso tres

- Segundo movimiento: Contracción de las horquillas en doble profundidad sin carga

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia de recorrido horquilla	2,625	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	1,000	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,750	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	1,125	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	0,750	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	2,750	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 21. Segundo movimiento del paso tres

Una vez que se han calculado los tiempos de cada movimiento realizados tanto por las horquillas como por el propio transelevador, se procede a calcular el tiempo total para los ciclos simples y los ciclos combinados. Para lograr una determinación precisa de los tiempos totales, fue esencial calcular el tiempo promedio de los desplazamientos de las horquillas tanto en profundidad simple como en profundidad doble. Esta media se calcula porque las horquillas del transelevador, al dejar la carga en su ubicación designada, pueden dirigirse tanto a profundidad simple como a profundidad doble. Dado que las dimensiones del almacén se adecúan a la capacidad estática, se distribuirán la mitad de los palets en la parte frontal y la otra mitad en la parte trasera de la estantería. En este caso, se estima el tiempo promedio considerando ambas posiciones, influyendo directamente en los tiempos totales del ciclo.

Con este propósito, se establecieron los tiempos necesarios para recoger una paleta en profundidad simple y doble, así como se calculó la media entre ambas situaciones:

Tiempo total de recojo en simple profundidad: Se suman los tiempos de los movimientos del primer paso, es decir, la retracción y la contracción de las horquillas y el ascenso y el descenso de la monocolumna. Estos tiempos sumados equivalen a 6,123 segundos.

Tiempo total de recojo en doble profundidad: Se suman los tiempos de ascenso y descenso de la monocolumna que son iguales a los de simple profundidad. Los tiempos de retracción y contracción de las horquillas son mayores ya que las horquillas accionan un recorrido mayor en comparación con el de doble profundidad. Sumando estos cuatro desplazamientos, el tiempo total equivale a 8,269 segundos.

Tiempo promedio del desplazamiento de las horquillas: Promediando los valores previamente descritos se obtiene un valor de 7,196 segundos. Este dato servirá para poder sumarlo a los respectivos ciclos.

Para calcular el tiempo del ciclo simple, se comienza determinando el tiempo promedio de los desplazamientos desde el punto 0 hasta P1 y desde el punto 0 hasta P2. Sumando ambos recorridos y dividiéndolos entre dos, se obtiene un promedio de 30,4 segundos. Luego, se multiplica este tiempo por dos, ya que se considera un recorrido de ida y vuelta. Además, se añade el tiempo necesario para ejecutar el primer paso, la recogida de la carga, y el tiempo promedio de las horquillas que se desplazan tanto en profundidad simple como en profundidad doble. Finalmente, se suma una décima de segundo por cada movimiento realizado (en este caso, 10 movimientos), lo que nos lleva a un tiempo total de 74,1 segundos.

Para calcular el ciclo combinado, se considera el tiempo de recogida de la paleta y el tiempo de su descarga. Sumamos los tiempos de desplazamiento desde la coordenada 0 hasta la coordenada P1, desde la coordenada P1 hasta la coordenada P2, y desde la coordenada P2 hasta la coordenada 0. También se añade dos veces el tiempo promedio de las horquillas en su desplazamiento, mencionado previamente. Finalmente, se suma una décima de segundo por cada movimiento realizado por cada componente (en este caso, 19 movimientos), lo que resulta en un tiempo total de 118 segundos.

Como era de anticipar, el tiempo del ciclo combinado resulta más eficiente en comparación con el tiempo del ciclo simple, ya que en el ciclo combinado se aprovecha el desplazamiento de la monocolumna para llevar a cabo dos operaciones de carga y descarga en un solo trayecto. Por el contrario, en el ciclo simple, se requeriría repetir el ciclo dos veces para completar ambas operaciones de carga y descarga, lo que resulta en un tiempo total superior en comparación con el ciclo combinado. Esto se refleja claramente en la Tabla 22, donde se pueden apreciar el contraste de tiempos entre ambos ciclos.

	Tiempo total del ciclo	Ciclos cumplidos por hora
Ciclo simple	75,126 s	47,91 \approx 47 ciclos
Ciclo combinado	118,049 s	30,49 \approx 30 ciclos

Tabla 22. Comparación del rendimiento de los ciclos simples y combinados

Dicho esto, se pueden considerar distintos tipos de escenarios, dependiendo de cómo se programe el sistema de gestión de almacenamiento, en los cuales varían las combinaciones de utilización tanto del ciclo simple como del ciclo combinado de los transelevadores. Paralelamente, cabe recalcar que cada monocolumna podría tener un comportamiento independiente dependiendo del planteamiento de dichos sistemas, es decir que no todas necesariamente tendrían que tener la misma programación de tiempos en los cuales opera con recorridos de ciclos simples y con recorridos ciclos combinados.

Para el análisis de estos distintos tipos de escenarios se plantearon tres ejemplos a desarrollar con la finalidad de comprobar si cumplen con la demanda planteada, que implica una rotación de cargas correspondientes a 1500 entradas y 1500 salidas.

En el primer escenario, se emplearán exclusivamente ciclos simples. En el segundo escenario, se contempla la ejecución de ciclos simples únicamente durante la primera y última media hora de la jornada, seguido de ciclos combinados para el tiempo restante. En el tercer escenario, se busca optimizar la utilización de ciclos simples al máximo,

empleando ciclos combinados para el tiempo restante. Esto se realiza con el propósito de evaluar los límites y la flexibilidad de esta opción en caso, por ejemplo, que los períodos de sólo entradas o sólo salidas sean más largos que las dos media-horas previstas originalmente al inicio y al final de la jornada.

Escenario 1:

Bajo el primer escenario, se plantea que las tres monocolumnas cumplen ciclos simples durante toda la jornada.

Capacidad por monocolumna de entradas en ciclo simple en la primera mitad de la jornada laboral:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{6,25 \text{ h.}}{75,126 \text{ s.}} = \frac{375 \text{ min.}}{1,25 \text{ min.}} \approx 299 E$$

Capacidad por monocolumna de salidas en ciclo simple en la última mitad de la jornada laboral:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{6,25 \text{ h.}}{75,126 \text{ s.}} = \frac{375 \text{ min.}}{1,25 \text{ min.}} \approx 299 S$$

Considerando que se ejecutan ciclos simples tanto en la primera mitad de la jornada laboral para entradas como en la última mitad de la jornada laboral para salidas, se obtiene una capacidad total por monocolumna de 299 entradas o salidas. Multiplicando este valor por la cantidad de transelevadores tanto en los horarios de entrada como de salida daría un total de 1794 entradas y salidas. Esto significa que, este escenario no cumple con la demanda a cumplir del caso de estudio de 3000 entradas y salidas.

Escenario 2:

Para este escenario de proyecto, se ha de considerar aquella condición que está acotada Tabla 2: en este caso, durante la primera media hora de la jornada sólo se generan entradas de paletas y durante la última media hora de la jornada sólo se generan salidas de paletas. Motivo por el cual durante este tiempo, equivalente en su totalidad a 1 hora, la dinámica de los transelevadores sólo pueden ser de carácter de ciclo simple.

Para las restantes 11 horas y media de la jornada laboral donde se generan entradas y salidas simultáneas de las paletas (especificadas en el caso de estudio) están compuestas por operaciones de ciclo combinado.

Capacidad por monocolumna de entradas en la primera media hora de la jornada:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{0,5 \text{ h.}}{75,126 \text{ s.}} = \frac{30 \text{ min.}}{1,25 \text{ min.}} \approx 23 E$$

Capacidad por monocolumna de entradas y salidas simultáneas en 11 horas y media:

$$\text{Capacidad en ciclo combinado} = \frac{11,5 \text{ h.}}{118,049 \text{ s.}} = \frac{690 \text{ min.}}{1,97 \text{ min.}} \approx 350 E/S$$

Capacidad por monocolumna de salidas en la última media hora de la jornada:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{0,5 \text{ h.}}{75,126 \text{ s.}} = \frac{30 \text{ min.}}{1,25 \text{ min.}} \approx 23 S$$

En el transcurso de la primera y última media hora de la jornada cada transelevador se producen un total de 46 entradas y salidas. Durante las once horas y media restantes los tres transelevadores hacen ciclos combinados, obteniendo una capacidad en dicho rango de tiempo de 350 entradas y salidas, respectivamente por monocolumna. Multiplicando dicho valor por las tres monocolumnas y sumándole las ciclos simples y finales totales se obtienen en total de 2238 entradas y salidas de carga. Con este escenario aún se seguiría por debajo de las 3000 entradas y salidas, por lo que se

podría considerar que este modelo de tres pasillos, a pesar que es aquel que nos daría el mayor número de entradas y salidas, no cumple con la demanda.

Escenario 3:

Si bien en el escenario precedente sería el modelo más dinámico y eficiente para el presente proyecto, no tendría sentido optimizar la utilización de ciclos simples al máximo ya que utilizando ciclos combinados en el tiempo donde se producen entradas y salidas simultáneas, los ciclos combinados no llegan a cubrir la demanda establecida en el caso de estudio.

Este escenario será utilizado en el siguiente capítulo donde se evaluarán propuesta de alternativas que cumplan con la restricción de la demanda.

2.6. Análisis del layout preliminar

Como se ha evidenciado, con tres pasillos, el sistema planteado originalmente no cumple con los requerimientos sobre el cumplimiento de la demanda delimitado en las especificaciones iniciales del problema. A continuación se comprobará si es que, con un pasillo más, lo que también significa un transelevador más dentro de la zona de almacenamiento, cumple con la demanda proyectada.

A continuación para el siguiente desarrollo de los cálculos de capacidad dinámica sólo se modificarían los valores del segundo paso, ya que el primer y tercer paso no cambian de valores porque sus movimientos tienen comportamientos independientes de la longitud de la estantería. En cambio los movimientos del segundo paso están descompuestos en dos desplazamientos simultáneos como ya se ha mencionado anteriormente: el de traslación y el de elevación. El único factor que se verá modificado de estas dos alternativas planteadas en base a la reducción del largo de las estanterías es aquella de la traslación. La variable de la elevación, por su parte, no cambia ya que

la altura mantiene la misma dimensión calculada inicialmente en la resolución del caso de estudio. De todas maneras, es importante tener en cuenta el valor del desplazamiento en elevación ya que dependiendo de si es mayor dicho valor respecto al desplazamiento en traslación será aquel a considerar para calcular el tiempo del ciclo recorrido.

Cabe destacar que el segundo paso se considera el más crítico por su influencia en las variaciones que podría causarse por las modificaciones existentes en las dimensiones de las estanterías, repercutiendo directamente en el tiempo total de los ciclos desarrollados por la monocolumna.

A continuación, se harán los respectivos cálculos del layout agregando un pasillo más para comprobar si es que, en este caso, sí cumple con la demanda planteada al inicio del problema.

2.6.1. Propuesta de capacidad estática

Tomando como referencia la Tabla 6 respecto a la determinación de la longitud de la estantería, en esta sección se utilizará, para el desarrollo de la capacidad dinámica, la longitud correspondiente a 4 pasillos de 107 metros.

2.6.2. Propuesta de capacidad dinámica

Como se mostró en la sección de la capacidad dinámica del capítulo previo, en esta sección se mostrará de la misma forma los cálculos realizados de los tiempos pero sólo aquellos desplazamientos correspondientes al paso dos, ya que es el único en el cual recaen las modificaciones debido a la alteración de la longitud de la zona de almacenamiento. Vale la pena mencionar que, debido a que se está modificando solo la longitud, el desplazamiento que variará será aquel del de traslación. El desplazamiento vertical no varía ya que no varía la altura de las estanterías pero es importante tenerlo

presente para contrastarlos y determinar cuál es el valor mayor para tomarlo en cuenta al calcular el tiempo de los ciclos.

- Primer movimiento: Del punto 0 al P1

- En traslación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje X	21,250	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	6,667	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	10,000	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	1,250	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	0,417	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	13,751	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 22. Primer movimiento en traslación

- En elevación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje Z	19,583	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,900	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	18,773	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	20,859	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$

Tiempo total	22,659	s	$T = t + 2 \cdot t'$
---------------------	---------------	----------	----------------------

Tabla 23. Primer movimiento en elevación

Como era de esperarse, el tiempo de elevación correspondiente a 22,7 segundos sería, de la misma manera que con tres pasillos, el desplazamiento a considerar ya que el tiempo de traslación seguiría disminuyendo porque se reduce el tamaño de la longitud.

- Segundo movimiento: Del punto 0 al P2

- En traslación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje X	70,833	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	6,667	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	10,000	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	50,833	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	16,944	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	30,278	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 24. Segundo movimiento en traslación

- En elevación

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje Z	5,875	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,900	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$

Distancia recorrida en aceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	5,065	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	5,628	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	7,428	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 25. Segundo movimiento en elevación

En esta trayectoria se considera el desplazamiento de traslación correspondiente a 30,3 segundos.

- Tercer movimiento: Del punto P1 al P2

- En traslación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje X	49,583	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	6,667	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	10,000	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	29,583	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	9,861	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	23,195	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 26. Tercer movimiento en traslación

- En elevación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje Z	13,708	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,900	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	12,898	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	14,331	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	16,131	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 27. Tercer movimiento en elevación

En esta trayectoria se considera el desplazamiento en traslación correspondiente a 23,2 segundos.

Ahora con los nuevos tiempos determinados se procede a calcular el tiempo de los ciclos de la misma forma como se hizo anteriormente. Resultando tener como resultado el siguiente:

	Tiempo total del ciclo	Ciclos cumplidos por hora
Ciclo simple	67,255 s	53,52 \approx 53 ciclos
Ciclo combinado	104,668 s	34,39 \approx 34 ciclos

Tabla 28. Comparación del rendimiento de los ciclos simples y combinados

Para evaluar cuántas entradas y salidas se cumplen en la jornada de trabajo, al igual que en capítulo anterior se hará la evaluación de los mismos tres escenarios establecidos.

Escenario 1:

El primer escenario se plantea que las cuatro monocolumnas cumplen ciclos simples durante toda la jornada.

Capacidad por monocolumna de entradas en ciclo simple en toda la jornada laboral:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{6,25 \text{ h.}}{67,255 \text{ s.}} = \frac{3,75 \text{ min.}}{1,12 \text{ min.}} \approx 334 E$$

Capacidad por monocolumna de salidas en ciclo simple en toda la jornada laboral:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{6,25 \text{ h.}}{67,255 \text{ s.}} = \frac{3,75 \text{ min.}}{1,12 \text{ min.}} \approx 334 S$$

Considerando que se ejecutan ciclos simples tanto en la primera mitad de la jornada laboral para entradas como en la última mitad de la jornada laboral para salidas, se obtiene una capacidad total por monocolumna de 334 entradas o salidas. Multiplicando este valor por la cantidad de transelevadores tanto en los horarios de entrada como de salida daría un total de 2672 entradas y salidas. Esto significa que, este escenario no cumple con la demanda a cumplir del caso de estudio de 3000 entradas y salidas.

Escenario 2:

Para el segundo escenario se asume que las 11 horas y media de la jornada laboral donde se generan entradas y salidas simultáneas de las paletas (especificadas en el caso de estudio) están compuestas por operaciones de ciclo combinado. Por otro lado, durante la primera y última media hora de la jornada los transelevadores sólo ejecutan ciclos simples.

Capacidad por monocolumna de entradas en la primera media hora de la jornada:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{0,5 \text{ h.}}{67,255 \text{ s.}} = \frac{30 \text{ min.}}{1,12 \text{ min.}} \approx 26 E$$

Capacidad por monocolumna de entradas y salidas simultáneas en 11 horas y media:

$$\text{Capacidad en ciclo combinado} = \frac{11,5 \text{ h.}}{104,668 \text{ s.}} = \frac{690 \text{ min.}}{1,75 \text{ min.}} \approx 394 \text{ E/S}$$

Capacidad por monocolumna de salidas en la última media hora de la jornada:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{0,5 \text{ h.}}{67,255 \text{ s.}} = \frac{30 \text{ min.}}{1,12 \text{ min.}} \approx 26 \text{ S}$$

Al igual que en el primer caso se suman capacidades de las entradas de la primera media hora y las salidas de la última media hora por la cantidad del número de monocolumnas obteniendo 104 entradas y 104 salidas de carga. Durante las 11 horas y media que los cuatro transelevadores hacen ciclos combinados se obtiene una capacidad en dicho rango de tiempo de 394 entradas y salidas, respectivamente por monocolumna. Multiplicando dicho valor por las cuatro monocolumnas y sumándole los ciclos simples y finales totales se obtienen en total de 1680 entradas y 1680 salidas de carga, cubriendo la demanda de 1500 entradas y 1500 salidas. Se puede concluir que la configuración con cuatro pasillos es la opción que propicia un diseño práctico y factible para la zona de almacenamiento.

Escenario 3:

Teniendo en cuenta la demanda a cumplir de entradas y salidas por jornada, en el presente escenario, se intenta determinar cuál es la mínima utilización de ciclos combinados permitiendo cumplir con la demanda requerida. El procedimiento utilizado fue de tipo prueba y error, hasta llegar a un máximo de tres horas y media al inicio y al final de la jornada. Los cálculos se presentan a continuación.

Capacidad por monocolumna de entradas en las primeras 3 horas y media de la jornada:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{3,5 \text{ h.}}{67,255 \text{ s.}} = \frac{210 \text{ min.}}{1,12 \text{ min.}} \approx 187 E$$

Capacidad por monocolumna de salidas en las últimas 3 horas y media de la jornada:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{3,5 \text{ h.}}{67,255 \text{ s.}} = \frac{210 \text{ min.}}{1,12 \text{ min.}} \approx 187 S$$

Capacidad por monocolumna de entradas y salidas simultáneas en 11 horas y media:

$$\text{Capacidad en ciclo combinado} = \frac{5,5 \text{ h.}}{104,668 \text{ s.}} = \frac{330 \text{ min.}}{1,75 \text{ min.}} \approx 188 E/S$$

En este escenario se supone que existen 7 horas en total en las cuales la mitad del tiempo se producen sólo entradas y la otra mitad se producen sólo salidas. La diferencia del tiempo restante, equivalente a 5 horas y media, están comprendidas por ciclos combinados de entradas y salidas. Sumando los valores de entrada y salida, multiplicados por la cantidad de monocolumnas, nos da exactamente un valor total de 1500 entradas y 1500 salidas, igual al de la demanda planteada en el caso de estudio.

El desarrollo de este último escenario resulta esencial para evaluar la robustez del diseño propuesto, caracterizado por la presencia de cuatro pasillos. Este enfoque valida su eficacia al brindar la posibilidad de incrementar significativamente la versatilidad en la programación, permitiendo segmentar períodos exclusivos para entradas o salidas, sin comprometer la rotación necesaria para cumplir con la demanda. No obstante, al considerar este diseño de cuatro pasillos como una opción viable, se deben tener en cuenta consideraciones adicionales, especialmente desde la perspectiva económica. La implementación de un transelevador adicional conlleva una inversión inicial mayor. A pesar de este incremento en los costos iniciales, la compensación radica en el potencial aumento de productividad que este ajuste podría brindar a largo plazo.

3. Discusión: propuestas de diseños y análisis de resultados

Una vez establecido el diseño factible, se procede a verificar los resultados al añadir un pasillo adicional, manteniendo la capacidad estática. Posteriormente, se llevará a cabo un análisis al reducir el diseño preliminar, disminuyendo simultáneamente la capacidad estática delineada en el caso de estudio. Este enfoque tiene como objetivo explorar diversas opciones relacionadas con la estructuración de las dimensiones y la maquinaria a ser implementada en la zona de almacenamiento, permitiendo una discusión detallada sobre las configuraciones más efectivas y eficientes.

Al igual que en el cálculo para el diseño preliminar factible, sólo se ajustarían los valores correspondientes al segundo paso. Esto se debe a que los movimientos asociados al primer y tercer paso mantienen sus valores inalterados, dado que sus comportamientos no están vinculados a la longitud de la estantería.

3.1. Análisis de layout alternativo

Para la presente alternativa se procede a hacer el mismo procedimiento del subcapítulo anterior, en este caso con un pasillo adicional (5 pasillos en total), con el objetivo de analizar otra configuración de la zona de almacenamiento y comprobar si es que se reduce considerablemente el tiempo total de los ciclos y reacciona el modelo de una manera más eficaz. Por motivos prácticos se nombrará a este layout como P5.

3.1.1. Propuesta de capacidad estática (P5)

Siguiendo como referencia la Tabla 6, a continuación se tiene en la Tabla 29 la continuación de la determinación de la longitud de la estantería con cinco pasillos.

	Total unidades	Niveles	5 pasillos	
			paletas	metros
Paleta 1	16000	10	80	81,6
Paleta 2	16000	10	80	81,6
Paleta 3	5000	3	83,33	85
Paleta 4	3000	2	75	76,5

Tabla 29. Determinación de longitud total de la estantería con cinco pasillos

En esta propuesta se obtiene como resultado una longitud de las estanterías de 85 metros.

3.1.2. Propuesta de capacidad dinámica (P5)

Al igual que en la sección precedente, sólo se mostrarán los nuevos resultados de los tiempos respectivos al paso dos para obtener los ciclos nuevos de la alternativa presente (para los pasos 1 y 3, no hay cambios).

- Primer movimiento: Del punto 0 al P1
 - En traslación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje X	17,000	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	6,667	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	10,000	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	- 3,000	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	- 1,000	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$

Tiempo total	13,751	s	$T = t + 2 \cdot t'$
---------------------	---------------	----------	----------------------

Tabla 30. Primer movimiento en traslación (P5)

■ En elevación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje Z	19,583	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,900	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	18,773	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	20,859	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	22,659	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 31. Primer movimiento en elevación (P5)

En esta trayectoria se considera el desplazamiento en elevación correspondiente a 22,7 segundos.

- Segundo movimiento: Del punto 0 al P2

■ En traslación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje X	56,667	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	6,667	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	10,000	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$

Distancia a velocidad constante	36,667	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	12,222	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	25,556	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 32. Segundo movimiento en traslación (P5)

■ En elevación

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje Z	5,875	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,900	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	5,065	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	5,628	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	7,428	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 33. Segundo movimiento en elevación (P5)

En esta trayectoria se considera el desplazamiento en traslación correspondiente a 25,6 segundos.

- Tercer movimiento: Del punto P1 al P2

■ En traslación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje X	39,667	<i>m</i>	<i>D</i>

Tiempo aceleración	6,667	s	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	10,000	m	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	19,667	m	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	6,556	s	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	19,889	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 34. Tercer movimiento en traslación (P5)

■ En elevación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje Z	13,708	m	D
Tiempo aceleración	0,900	s	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	m	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	12,898	m	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	14,331	s	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	16,131	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 35. Tercer movimiento en elevación (P5)

En esta trayectoria se considera el desplazamiento en traslación correspondiente a 19,9 segundos.

Con los nuevos tiempo conseguidos se obtuvieron los siguientes valores para el ciclo simple y el ciclo combinado:

	Tiempo total del ciclo	Ciclos cumplidos por hora
Ciclo simple	62,534 s	57,56 ≈ 57 ciclos
Ciclo combinado	96,641 s	37,25 ≈ 37 ciclos

Tabla 36. Comparación del rendimiento de los ciclos simples y combinados (P5)

Para evaluar cuántas entradas y salidas se cumplen en la jornada de trabajo, al igual que en capítulo anterior se hará la evaluación de los mismos tres escenarios establecidos.

Escenario 1:

El primer escenario se plantea que las cinco monocolumnas cumplen ciclos simples durante toda la jornada.

Capacidad por monocolumna de entradas en ciclo simple en toda la jornada laboral:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{6,25 \text{ h.}}{62,534 \text{ s.}} = \frac{375 \text{ min.}}{1,04 \text{ min.}} \approx 359 E$$

Capacidad por monocolumna de salidas en ciclo simple en toda la jornada laboral:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{6,25 \text{ h.}}{62,534 \text{ s.}} = \frac{375 \text{ min.}}{1,04 \text{ min.}} \approx 359 S$$

Considerando que se ejecutan ciclos simples tanto en la primera mitad de la jornada laboral para entradas como en la última mitad de la jornada laboral para salidas, se obtiene una capacidad total por monocolumna de 359 entradas o salidas. Multiplicando este valor por la cantidad de transelevadores tanto en los horarios de entrada como de salida daría un total de 3590 entradas y salidas. Esto significa que, este escenario supera la demanda a cumplir del caso de estudio de 3000 entradas y salidas.

Escenario 2:

Para el segundo escenario se asume que las 11 horas y media de la jornada laboral donde se generan entradas y salidas simultáneas de las paletas (especificadas en el caso de estudio) están compuestas por operaciones de ciclo combinado. Por otro lado, durante la primera y última media hora de la jornada los transelevadores sólo ejecutan ciclos simples.

Capacidad por monocolumna de entradas en la primera media hora de la jornada:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{0,5 \text{ h.}}{62,534 \text{ s.}} = \frac{30 \text{ min.}}{1,04 \text{ min.}} \approx 28 \text{ E}$$

Capacidad por monocolumna de entradas y salidas simultáneas en 11 horas y media:

$$\text{Capacidad en ciclo combinado} = \frac{11,5 \text{ h.}}{96,641 \text{ s.}} = \frac{690 \text{ min.}}{1,61 \text{ min.}} \approx 428 \text{ E/S}$$

Capacidad por monocolumna de salidas en la última media hora de la jornada:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{0,5 \text{ h.}}{62,534 \text{ s.}} = \frac{30 \text{ min.}}{1,04 \text{ min.}} \approx 28 \text{ S}$$

Al igual que en el primer caso se suman capacidades de las entradas de la primera media hora y las salidas de la última media hora por la cantidad del número de monocolumnas obteniendo 140 entradas y 140 salidas de carga. Durante las 11 horas y media que los cinco transelevadores hacen ciclos combinados se obtiene una capacidad en dicho rango de tiempo de 428 entradas y salidas, respectivamente por monocolumna. Multiplicando dicho valor por las cinco monocolumnas y sumándole las ciclos simples y finales totales se obtienen en total de 2280 entradas y 2280 salidas de carga, rebasando significativamente (en más del cincuenta por ciento) la demanda de 1500 entradas y 1500 salidas, por lo que este modelo nos daría el diseño más eficiente para el presente proyecto.

Escenario 3:

Este escenario no sería necesario calcularlo en este caso ya que como se ha podido evidenciar en el primer escenario, se cumple la condición de la demanda si es que sólo se trabaja con ciclos simples. En conclusión, trabajar con cinco transelevadores monocolumna y consecuentemente reducir la zona de almacenamiento manteniendo la capacidad estática del mismo reduce significativamente los ciclos. Definitivamente implementar más transelevadores genera mejor efectividad en el proceso de carga y descarga de los palets, sin embargo también equivaldría a un aumento económico relevante en la implementación de estas máquinas. Por ende, es responsabilidad de la empresa evaluar si el coste adicional asociado justifica la obtención de la flexibilidad total, tanto en los flujos de entrada como de salida, que este nuevo diseño posibilita.

3.2. Análisis del layout reducido

Para la presente alternativa se procede a hacer el mismo procedimiento del subcapítulo anterior, en este caso reduciendo la longitud de la estantería del layout preliminar en un diez por ciento. Por motivos prácticos se nombrará a este layout como L10%-.

Se optó por la reducción directa del diseño preliminar factible con cuatro pasillos, ya que su capacidad de almacenamiento de cuarenta mil paletas podría considerarse elevada en relación con la rotación necesaria, fijada por la demanda de tres mil cargas entre entradas y salidas. Esta capacidad equivalente a aproximadamente 13 días de trabajo para lograr la rotación completa de todos los palets. La justificación de mantener un stock de seguridad elevado se fundamenta en los requisitos de la organización, que pueden derivar de fluctuaciones significativas en el suministro por parte de los proveedores, por protección contra problemas logísticos, cambios estacionales o de ajustes económicos basados en la oferta global.

Dado que el proyecto recae ante una planta de distribución de productos alimentarios, se propone una reducción directa de la capacidad estática inicial. Esto se traduce en una disminución del costo de inversión para la instalación del almacén, ya que se requiere una superficie inferior a la inicialmente planificada. Este enfoque busca una adecuación eficiente, considerando la naturaleza específica de la distribución de productos alimentarios y optimizando los recursos disponibles.

3.2.1. Propuesta de capacidad estática (L10%-)

En esta sección, se calculará cuántas paletas cabrían si es que se reduce en un diez por ciento la longitud de la estantería del layout preliminar, es decir que se regresa a la configuración inicial factible que comprende cuatro pasillos. Reducir en un diez por ciento la longitud del layout preliminar significa reducir en aproximadamente 10 metros de estantería por lo que nos daría una longitud total de la zona de almacenamiento de 96,6 metros.

Con esta nueva longitud cabrían menos paletas de las que el problema plantea inicialmente.

3.2.2. Propuesta de capacidad dinámica (L10%-)

- Primer movimiento: Del punto 0 al P1

- En traslación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje X	19,125	m	D

Tiempo aceleración	6,667	s	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	10,000	m	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	-0,875	m	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	-0,292	s	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	13,751	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 37. Primer movimiento en traslación (L10%-)

■ En elevación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje Z	19,583	m	D
Tiempo aceleración	0,900	s	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	m	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	18,773	m	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	20,859	s	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	22,659	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 38. Primer movimiento en elevación (L10%-)

En esta trayectoria se considera el desplazamiento en elevación correspondiente a 22,7 segundos.

- Segundo movimiento: Del punto 0 al P2

■ En traslación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje X	63,750	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	6,667	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	10,000	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	43,750	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	14,583	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	27,917	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 39. Segundo movimiento en traslación (L10%-)

■ En elevación

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje Z	5,875	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,900	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	5,065	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	5,628	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	7,428	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 40. Segundo movimiento en elevación (L10%-)

En esta trayectoria se considera el desplazamiento en traslación correspondiente a 27,9 segundos.

- Tercer movimiento: Del punto P1 al P2

- En traslación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje X	44,625	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	6,667	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	10,000	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	24,625	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	8,208	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	21,542	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 41. Tercer movimiento en traslación (L10%-)

- En elevación:

Variables	Datos y resultados		Fórmula
Distancia recorrida en el eje Z	13,708	<i>m</i>	<i>D</i>
Tiempo aceleración	0,900	<i>s</i>	$t' = \frac{v}{a}$
Distancia recorrida en aceleración	0,405	<i>m</i>	$d' = \frac{a \cdot t'^2}{2}$
Distancia a velocidad constante	12,898	<i>m</i>	$d = D - d'$
Tiempo en velocidad constante	14,331	<i>s</i>	$t = \frac{d}{v}$
Tiempo total	16,131	s	$T = t + 2 \cdot t'$

Tabla 42. Tercer movimiento en elevación (L10%-)

En esta trayectoria se considera el desplazamiento en traslación correspondiente a 21,5 segundos.

Con los nuevos tiempo conseguidos se obtuvieron los siguientes valores para el ciclo simple y el ciclo combinado:

	Tiempo total del ciclo	Ciclos cumplidos por hora
Ciclo simple	64,895 s	57,56 \approx 57 ciclos
Ciclo combinado	100,655 s	37,25 \approx 37 ciclos

Tabla 43. Comparación del rendimiento de los ciclos simples y combinados (L10%-)

Para evaluar cuántas entradas y salidas se cumplen en la jornada de trabajo, al igual que en capítulo anterior se hará la evaluación de los mismos tres escenarios establecidos.

Escenario 1:

El primer escenario se plantea que las cuatro monocolumnas cumplen ciclos simples durante toda la jornada.

Capacidad por monocolumna de entradas en ciclo simple en toda la jornada laboral:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{6,25 \text{ h.}}{64,895 \text{ s.}} = \frac{375 \text{ min.}}{1,08 \text{ min.}} \approx 346 E$$

Capacidad por monocolumna de salidas en ciclo simple en toda la jornada laboral:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{6,25 \text{ h.}}{64,895 \text{ s.}} = \frac{375 \text{ min.}}{1,08 \text{ min.}} \approx 346 S$$

Considerando que se ejecutan ciclos simples tanto en la primera mitad de la jornada laboral para entradas como en la última mitad de la jornada laboral para salidas, se obtiene una capacidad total por monocolumna de 346 entradas o salidas. Multiplicando este valor por la cantidad de transelevadores tanto en los horarios de entrada como de salida daría un total de 2768 entradas y salidas. Esto significa que, este escenario no supera la demanda a cumplir del caso de estudio de 3000 entradas y salidas.

Escenario 2:

Para el segundo escenario se asume que las 11 horas y media de la jornada laboral donde se generan entradas y salidas simultáneas de las paletas (especificadas en el caso de estudio) están compuestas por operaciones de ciclo combinado. Por otro lado, durante la primera y última media hora de la jornada los transelevadores sólo ejecutan ciclos simples.

Capacidad por monocolumna de entradas en la primera media hora de la jornada:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{0,5 \text{ h.}}{64,895 \text{ s.}} = \frac{30 \text{ min.}}{1,08 \text{ min.}} \approx 27 E$$

Capacidad por monocolumna de entradas y salidas simultáneas en 11 horas y media:

$$\text{Capacidad en ciclo combinado} = \frac{11,5 \text{ h.}}{100,655 \text{ s.}} = \frac{690 \text{ min.}}{1,67 \text{ min.}} \approx 411 E/S$$

Capacidad por monocolumna de salidas en la última media hora de la jornada:

$$\text{Capacidad en ciclo simple} = \frac{0,5 \text{ h.}}{64,895 \text{ s.}} = \frac{30 \text{ min.}}{1,08 \text{ min.}} \approx 27 S$$

Al igual que anteriormente, se suman capacidades de las entradas de la primera media hora y las salidas de la última media hora por la cantidad del número de monocolumnas obteniendo 108 entradas y 108 salidas de carga. Durante las 11 horas y media que los cuatro transelevadores hacen ciclos combinados se obtiene una capacidad en dicho

rango de tiempo de 411 entradas y salidas, respectivamente por monocolumna. Multiplicando dicho valor por las cuatro monocolumnas y sumándole los ciclos simples y finales totales se obtienen en total de 1752 entradas y 1752 salidas de carga, cubriendo la demanda de 1500 entradas y 1500 salidas.

Escenario 3:

Como en el layout preliminar, en el presente escenario, se intentará acortar el tiempo de utilización de ciclos combinados, por lo que se debe definir los tiempos ciclos simples sea al inicio como al fin de la jornada.

Capacidad por monocolumna de entradas en las primeras cuatro horas y media de la jornada:

$$Capacidad\ en\ ciclo\ simple = \frac{4,5\ h.}{64,895\ s.} = \frac{270\ min.}{1,08\ min.} \approx 250\ E$$

Capacidad por monocolumna de entradas y salidas simultáneas en once horas y media:

$$Capacidad\ en\ ciclo\ combinado = \frac{3,5\ h.}{100,655\ s.} = \frac{210\ min.}{1,67\ min.} \approx 125\ E/S$$

Capacidad por monocolumna de salidas en las últimas cuatro horas y media de la jornada:

$$Capacidad\ en\ ciclo\ simple = \frac{4,5\ h.}{64,895\ s.} = \frac{270\ min.}{1,08\ min.} \approx 250\ S$$

En este escenario se supone que existen nueve horas en total en las cuales la mitad del tiempo se producen sólo entradas y la otra mitad se producen sólo salidas. La diferencia del tiempo restante, equivalente a tres horas y media están comprendidas por ciclos combinados de entradas y salidas. Sumando los valores de entrada y salida,

multiplicados por la cantidad de monocolumnas, nos da exactamente un valor total de 1500 entradas y 1500 salidas, igual al de la demanda planteada en el caso de estudio.

Este capítulo ha desempeñado un papel crucial al proporcionarnos la capacidad de contrastar diversos escenarios en función del diseño estático de la zona de almacenamiento. A medida que refinamos las configuraciones del modelado de las estanterías, se evidencia claramente su impacto directo en la productividad y eficiencia del proceso de carga y descarga de las paletas. La reducción del tamaño de las estanterías se convierte en un factor determinante para aumentar significativamente el número de ciclos por hora en el proceso de almacenamiento. Asimismo, la implementación de más pasillos operados por transelevadores se traduce en un incremento sustancial de la eficacia en las operaciones logísticas del almacén.

En el contexto más amplio de cualquier diseño de una planta de distribución, la búsqueda se centra en garantizar una rotación ágil de los bienes, siendo este imperativo aún más crucial en un almacén destinado a productos alimentarios. Para generar una rotación elevada de la mercadería, se aconseja evaluar cuidadosamente la necesidad del espacio existente, considerando la posibilidad de reducir las dimensiones de las instalaciones. Esta estrategia, llevada a cabo de manera secuencial, no sólo propicia una disminución del tamaño del almacén traducida también en un ahorro económico de implementación, sino que también potencia de forma continua la eficiencia operativa del conjunto.

4. Tecnologías implementadas

La gestión eficiente de almacenes que almacenan productos alimentarios es de vital importancia para garantizar la calidad y la seguridad de los productos, así como para cumplir con las regulaciones y satisfacer las demandas de los consumidores. La implementación de tecnologías avanzadas desempeña un papel esencial en la mejora de la eficiencia, la trazabilidad y la gestión de la cadena de suministro en almacenes

automatizados para productos alimentarios. Existen diversas tecnologías clave que se han convertido en pilares fundamentales en estos almacenes, incluyendo sistemas de monitoreo de temperatura y humedad, robots de manipulación, sistemas de visión por computadora y soluciones de seguimiento y trazabilidad.

Sistemas de monitoreo de temperatura y humedad

La temperatura y la humedad son factores críticos en la gestión de productos alimentarios, ya que pueden afectar su calidad y seguridad. Los sistemas de monitoreo de temperatura y humedad juegan un papel crucial en almacenes automatizados para productos alimentarios. Estos sistemas utilizan sensores avanzados y actuadores para garantizar que las condiciones de almacenamiento se mantengan dentro de los rangos especificados.

Los sensores de temperatura y humedad monitorean constantemente el entorno del almacén y proporcionan datos en tiempo real. Si se detectan desviaciones fuera de los parámetros predefinidos, los actuadores pueden tomar medidas correctivas, como ajustar la temperatura o la humedad. Además, estos sistemas permiten un control y registro detallado de las condiciones de almacenamiento, lo que es esencial para cumplir con los estándares de seguridad alimentaria y para garantizar la trazabilidad de los productos.

Robots de manipulación

Los transelevadores integrados con el sistema de gestión de almacenes podría considerarse un gran avance con respecto a la automatización de la tecnología para generar mayor productividad y reducir los errores dentro del proceso de almacenaje de alimentos. De manera paralela también se podrían implementar robots de manipulación ya que desempeñan un papel fundamental en la automatización de tareas repetitivas y exigentes en almacenes automatizados para productos alimentarios. Estos robots están diseñados para la clasificación, el embalaje, la carga y descarga de productos, y

pueden manejar una amplia variedad de productos alimentarios, desde envases hasta productos a granel.

Los robots están equipados con sensores avanzados que les permiten manipular productos con precisión y seguridad. Además, están diseñados para cumplir con las regulaciones de higiene y seguridad alimentaria. La automatización de estas tareas no solo mejora la eficiencia, sino que también reduce el riesgo de contaminación y manipulación inadecuada de los productos, lo que es esencial para garantizar la seguridad y la calidad alimentaria.

Sistema de visión por computadora

Los sistemas de visión por computadora son esenciales para la gestión de productos alimentarios en almacenes automatizados. Estos sistemas utilizan cámaras y software avanzado para identificar, rastrear y clasificar productos. Pueden reconocer códigos de barras, etiquetas, colores y formas para asegurar la gestión precisa del inventario.

Además de facilitar la gestión de inventario, los sistemas de visión por computadora son fundamentales para la selección de productos en almacenes automatizados. Pueden guiar robots y vehículos autónomos para recoger los productos correctos y garantizar la precisión de los pedidos. También pueden detectar productos dañados o defectuosos, lo que contribuye a mantener la calidad y la seguridad alimentaria.

Seguimiento y trazabilidad

La trazabilidad es esencial en la gestión de productos alimentarios para garantizar la seguridad y la calidad. Los almacenes automatizados deben ser capaces de rastrear y documentar el movimiento de cada producto a lo largo de la cadena de suministro. Para lograrlo, se utilizan soluciones de seguimiento y trazabilidad.

Estas soluciones emplean tecnologías como códigos de barras, RFID (Identificación por Radiofrecuencia) y sistemas de gestión de inventario para registrar y rastrear productos desde su llegada al almacén hasta su entrega al cliente. Esto es crucial para identificar y retirar rápidamente productos en caso de problemas de calidad o retiros del mercado.

La implementación de estas tecnologías avanzadas no solo mejora la eficiencia y la calidad en la gestión de almacenes para productos alimentarios, sino que también brinda beneficios adicionales, como la reducción de costos operativos y la mejora de la satisfacción del cliente. Los sistemas de monitoreo de temperatura y humedad aseguran que los productos se almacenen bajo condiciones óptimas, minimizando el desperdicio y garantizando la seguridad alimentaria.

Los robots de manipulación reducen la manipulación manual, disminuyen los errores y aumentan la velocidad de procesamiento de pedidos, lo que contribuye a una mayor eficiencia y satisfacción del cliente. Los sistemas de visión por computadora mejoran la precisión en la selección de productos y la gestión de inventario, lo que conlleva una reducción de costos y una mayor competitividad en el mercado.

La implementación de soluciones de seguimiento y trazabilidad garantiza la seguridad y la calidad de los productos, y permite a las empresas cumplir con las regulaciones y las expectativas de los consumidores.

La implementación de tecnologías avanzadas en almacenes automatizados para productos alimentarios ha revolucionado la forma en que se gestionan estos productos. La automatización de tareas, el monitoreo preciso de condiciones ambientales, la gestión de inventario con visión por computadora y la trazabilidad son pilares fundamentales para garantizar la calidad y la seguridad alimentaria.

Estas tecnologías no solo optimizan la eficiencia y la productividad en los almacenes, sino que también contribuyen a una mejor satisfacción del cliente, reducción de costos operativos y cumplimiento de regulaciones y estándares de seguridad alimentaria.

5. Propuesta de mejoras y futuros proyectos

En el contexto del diseño de almacenes automatizados para productos alimentarios, se presentan una serie de propuestas de mejora y futuros proyectos que tienen como objetivo optimizar la operación y expandir la escala de estos complejos sistemas. La evolución constante de la tecnología y las cambiantes demandas del mercado hacen necesario explorar nuevas vías de mejora y expansión en estos entornos críticos para la industria alimentaria.

Propuestas de Mejora

1. Optimización de rutas y tráfico de Vehículos Autónomos Guiados (AGV): En almacenes de gran envergadura, la optimización de rutas y la gestión del tráfico de AGV son elementos esenciales. La implementación de algoritmos avanzados de planificación de rutas y coordinación de AGV puede reducir la congestión, incrementando así la eficiencia operativa.

2. Gestión de energía sostenible: La sostenibilidad es una preocupación creciente en la industria alimentaria. La incorporación de sistemas de energía sostenible, como paneles solares o sistemas de gestión de energía eficiente, no solo reduce costos, sino que también contribuye a la reducción de la huella de carbono.

3. Integración de la Inteligencia Artificial (IA): La IA puede revolucionar la toma de decisiones en tiempo real en almacenes automatizados. La introducción de la IA en sistemas de control y gestión permite una mayor autonomía y adaptabilidad a condiciones cambiantes.

4. Automatización de la gestión de inventario y pedidos: La automatización de la gestión de inventario y la generación de pedidos puede disminuir la necesidad de intervención humana en la toma de decisiones operativas, lo que conduce a una mayor eficiencia y precisión.

5. Monitorización avanzada de la cadena de frío: En el caso de productos alimentarios que requieren condiciones de temperatura controlada, la monitorización avanzada de la cadena de frío es fundamental. La utilización de sensores y sistemas de control de temperatura más precisos asegura la seguridad y calidad de los productos.

Futuros Proyectos

1. Expansión de la escala con almacenes multilocales: La creación de almacenes automatizados distribuidos en ubicaciones estratégicas puede permitir una mayor proximidad a los mercados y una entrega más rápida de productos frescos.

2. Automatización de la última milla: La automatización de la última milla, que implica la entrega de productos directamente a los consumidores, es un área de crecimiento prometedor. Los vehículos autónomos y los drones pueden desempeñar un papel importante en esta expansión.

3. Gestión de datos avanzada: La gestión de datos avanzada y el análisis predictivo pueden ayudar a prever las necesidades de inventario, optimizar la rotación de productos y reducir el desperdicio en la industria alimentaria.

4. Almacenes inteligentes y conectados: La creación de almacenes inteligentes y conectados implica la interconexión de dispositivos y sistemas, lo que permite una mayor visibilidad y control en toda la cadena de suministro.

Estudios de Simulación de Operación

La simulación de operación es una herramienta valiosa para probar y validar el diseño y las propuestas de mejora antes de su implementación. Los estudios de simulación permiten evaluar cómo las nuevas tecnologías, procesos y cambios en la escala afectarán la operación del almacén antes de invertir recursos significativos.

En un estudio de simulación, se crean modelos digitales precisos del almacén y sus operaciones. Luego, se ejecutan simulaciones computarizadas para observar cómo se desarrollarían las operaciones en diferentes escenarios. Estos estudios pueden proporcionar información valiosa, como la capacidad de carga, los tiempos de procesamiento, los cuellos de botella y los costos operativos previstos.

Epílogo

El diseño de almacenes automatizados para productos alimentarios es un campo en constante evolución. La combinación de propuestas de mejora, futuros proyectos y estudios de simulación juega un papel fundamental. Los modelos de simulación permiten evaluar y prever el rendimiento de diferentes configuraciones, agilizando la toma de decisiones en el diseño y operación del almacén. Esta integración del rol de la simulación no solo impulsa la eficiencia operativa, sino que también facilita la anticipación de posibles desafíos y la implementación de soluciones proactivas. Así, los almacenes automatizados logran mantenerse a la vanguardia de la industria y cumplir con las crecientes expectativas de calidad, eficiencia y sostenibilidad, asegurando una optimización constante y una adaptación ágil a las necesidades cambiantes.

6. Conclusión

En este proyecto, nos hemos centrado en la creación de un almacén de alto rendimiento que incorpora un sistema de paletizado automático diseñado específicamente para una planta de distribución de productos alimentarios. Nuestro objetivo principal fue abordar los desafíos logísticos que enfrentan los almacenes automáticos autoportantes, como la optimización del espacio, la reducción de los tiempos de operación y la garantía de la calidad y seguridad de los productos perecederos. A lo largo de este estudio, hemos analizado en profundidad los componentes clave de este sistema, incluyendo la estructura del almacén, los sistemas de transporte de paletas y el software de gestión.

En particular, hemos tenido en cuenta las especificaciones delineadas por el caso de estudio, que ilustra uno de los desafíos cruciales a abordar para mantener una cadena logística consistente a lo largo del tiempo en una planta de distribución como la del presente proyecto. Al enfrentar este proyecto en las instalaciones de mercadería alimentaria, la clave para asegurar y cumplir con las especificaciones del problema radica en mantener una alta eficacia en los procesos de almacenaje. Para lograr esto, se han propuesto diversas soluciones de diseño de almacenes, evaluando su viabilidad en términos de capacidad y productividad para cumplir con las rotaciones requeridas en una jornada laboral. Simultáneamente, se han considerado distintos escenarios, evaluando configuraciones de tiempos de ciclos simples y combinados, así como diversas hipótesis sobre la capacidad estática. Este enfoque persigue poner en perspectiva los diseños estudiados y proponer la solución más adecuada según los requisitos de la organización.

Logros y Resultados Clave

Los resultados obtenidos durante este proyecto son significativos y prometen mejoras sustanciales en la operación de la planta de distribución de productos alimentarios:

1. Optimización del espacio de almacenamiento: La incorporación del sistema de paletizado automático no solo se ha revelado como altamente efectiva en la optimización del espacio de almacenamiento, sino que también ha sido sometida a un exhaustivo análisis de diversas alternativas a lo largo del proyecto. Este enfoque se traduce en una significativa ampliación de la capacidad de almacenamiento dentro de la misma área, generando un impacto directo tanto en la eficiencia operativa como en la economía global del almacén.

2. Reducción de costos operativos: La automatización de la manipulación de productos, combinada con una organización más eficiente y un acceso mejorado a los mismos, ha conducido a una reducción significativa de los costos operativos a largo plazo. Los procesos manuales y las pérdidas asociadas se han minimizado, lo que mejora la rentabilidad del almacén (Richards, 2018).

3. Mejora en la calidad y precisión de la distribución: La automatización en la organización de productos en paletas ha mejorado la eficiencia en la distribución de productos alimentarios. Esto garantiza la satisfacción del cliente y minimiza el desperdicio y la pérdida de productos.

4. Impacto positivo en la sostenibilidad: La automatización conlleva una reducción en los residuos y el consumo de energía, lo que se alinea con las crecientes preocupaciones sobre la sostenibilidad. Esto no solo beneficia al entorno, sino que también mejora la imagen de la empresa y su compromiso con prácticas sostenibles.

Perspectivas Futuras

Si bien hemos logrado avances notables en este proyecto, existen oportunidades para futuras investigaciones y mejoras:

1. **Expansión a Nuevas Ubicaciones:** El éxito de la implementación de este sistema en una planta de distribución establece un precedente para su expansión a otras ubicaciones y empresas en la industria alimentaria.
2. **Integración de Tecnologías Emergentes:** La adopción de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y la automatización avanzada, puede llevar a mejoras adicionales en eficiencia y costos.
3. **Mejoras en la Gestión de Datos:** La gestión de datos es esencial en la operación de un almacén automatizado. Investigaciones futuras pueden centrarse en la mejora de la gestión de datos y análisis predictivos para una operación aún más eficiente.
4. **Desarrollo de Simulación:** El presente proyecto puede servir para diseñar un modelo de simulación que permitirá afinar los detalles del diseño del layout, identificar posibles problemas o incongruencias que no se pueden apreciar con un simple cálculo de capacidad y sobretodo para poder abordar un vasta cantidad de datos, variables y configuraciones a ser analizadas en el proceso de almacenamiento.

Conclusión Final

Este proyecto proporciona una guía detallada para el diseño e implementación de almacenes con sistemas de paletizado automático en la industria alimentaria. Los resultados y recomendaciones presentados aquí tienen el potencial de transformar la industria, mejorando la capacidad de almacenamiento y distribución de productos de manera más eficiente, económica y sostenible. En un mundo en constante evolución, la innovación y la automatización son esenciales para mantenerse competitivo y sostenible. Este proyecto es un paso en esa dirección, y abre la puerta a un futuro de operaciones de almacén más eficientes y sostenibles en la industria alimentaria.

7. Referencias y bibliografía

- Buckow, J.-N., & Knust, S. (2023, Julio 8). The warehouse reshuffling problem with swap moves and time limit. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.ejtl.2023.100113>
- Dong Yang, Yaohua Wu, & Wenkai Ma. (2020). Optimization of Storage Location Assignment in Automated Warehouse. *Microprocessors and Microsystems*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103356>
- Kees Jan Roodbergen, & Iris F.A. Vis. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 194(2), 343-362. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.038>
- Melis Küçükyaşar, Banu Yetkin Ekren, & Tone Lerher. (2020). 13 - Energy efficient automated warehouse design. In J. R. Vacca (Ed.), *Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies: Handbook on Planning, Design, Development, and Regulation* (pp. 269-292). Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816816-5.00013-9>
- Richards, G. (2018). *Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse* (Vol. 3). Kogan Page.
- Sánduly, A., Kelemen, A., & Nagy, Z. (2023). Uncertainties in the structural design of the high-bay cold storage warehouses. *Cold-formed Structures*. <https://doi.org/10.1002/cepa.2512>
- Suresh Pingale, M., & H. Kulkarni, D. H. (2019). Design And Development Of Automated Storage And Retrieval System (ASRS) For Warehouse Using IOT And Wireless Communication. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, 8(09), 4.

Tsarpalis, D., Vamvatsikos, D., Vayas, I., & Delladonna, F. (2021). Simplified Modeling for the Seismic Performance Assessment of Automated Rack-Supported Warehouses. *Journal of Structural Engineering*, 147(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0003153](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0003153)