



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Dimensionado de un almacén automático para
palés con envases de pintura/barniz

Automated warehouse sizing for pallets with
paint and varnish containers

Autor

Diana Velasco Ruiz

Director

Enrique Hernández Hernández

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia

Junio 2021

Página intencionadamente en blanco.



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

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

MEMORIA

Dimensionado de un almacén automático para
palés con envases de pintura/barniz

Automated warehouse sizing for pallets with
paint and varnish containers

425.21.36

Autor: Diana Velasco Ruiz

Director: Enrique Hernández Hernández

Fecha: Junio 2022

Página intencionadamente en blanco.

INDICE DE CONTENIDO BREVE

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	5
4. ESTADO DEL ARTE	12
5. DESARROLLO	19
6. RESULTADOS	77
7. CONCLUSIONES	78
8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	79
9. BIBLIOGRAFÍA	80

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
1.1. PALABRAS CLAVE	2
2. ABSTRACT	3
2.1. KEY WORDS	4
3. INTRODUCCIÓN	5
3.1. ENUNCIADO	5
3.2. MOTIVACIÓN	5
3.3. OBJETIVO	5
3.4. UBICACIÓN	7
3.5. ANTECEDENTES	8
3.6. PLANIFICACIÓN	8
4. ESTADO DEL ARTE	12
4.1. ALMACENES CONVENCIONALES	12
4.2. ALMACENES AUTOMATIZADOS O AUTOMÁTICOS	14
4.2.1. Tipos de almacén automático	16

4.2.1.1. Tipo de edificación _____	16
4.2.1.1.1. Nave tradicional _____	16
4.2.1.1.2. Almacén autoportante _____	16
4.2.1.2. Tipo de mercancía _____	17
4.2.1.2.1. Palés _____	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1.2.2. Cajas _____	17
4.2.1.3. Nivel de compactación _____	17
4.2.1.3.1. Simple profundidad _____	17
4.2.1.3.2. Doble profundidad _____	18
4.2.1.4. Nivel de automatización _____	18
4.2.1.4.1. Semiautomático _____	18
4.2.1.4.2. Automatización de toma de decisiones _____	18
4.2.1.4.3. Totalmente automático _____	18
5. DESARROLLO _____	19
5.1. SITUACIÓN ACTUAL _____	19
5.1.1. <i>Tipología del producto a almacenar</i> _____	19
5.1.2. <i>Descripción del almacenamiento</i> _____	21
5.1.3. <i>Sistema de trabajo: "Operario a Producto"</i> _____	23
5.1.4. <i>Recursos empleados</i> _____	25
5.1.5. <i>Datos de partida</i> _____	26
5.1.6. <i>Previsión futura</i> _____	26
5.1.7. <i>Espacio disponible</i> _____	26
5.2. ANÁLISIS DE LOS DATOS _____	28
5.2.1. <i>Tipología del Stock</i> _____	28
5.2.2. <i>Selección de envases a considerar</i> _____	29
5.2.3. <i>Movimientos necesarios</i> _____	33
5.3. DIMENSIONADO Y DEFINICIÓN _____	35
5.3.1. <i>Tipo almacén adecuado</i> _____	35
5.3.2. <i>Capacidad</i> _____	37
5.3.2.1. <i>Distribución de alturas</i> _____	37
5.3.2.2. <i>Lineales de estantería</i> _____	38
5.3.2.3. <i>Número de pasillos</i> _____	39
5.3.2.4. <i>Solución final para el almacenamiento</i> _____	40
5.3.3. <i>Necesidades de picking / movimientos</i> _____	41
5.3.3.1. <i>FEM 9851</i> _____	41
5.3.3.1.1. <i>Definición de tipos de ciclo</i> _____	42
5.3.3.1.2. <i>Tiempos de ciclo</i> _____	45
5.3.3.2. <i>Calculo de tiempos de ciclo</i> _____	47

5.3.3.2.1. Tiempos ciclo de E/S horquillas	48
5.3.3.2.2. Tiempos de ciclo simple del transelevador	50
5.3.3.2.3. Tiempos de ciclo combinado del transelevador	53
5.3.3.2.4. Tiempo de ciclos completos	56
5.3.3.3. Número de transelevadores	57
5.3.3.4. Número de puestos preparación pedidos	58
5.3.3.4.1. Posibles opciones	58
5.3.3.4.2. Solución adoptada	60
5.3.3.4.3. Dimensionado	60
5.3.3.5. Pistas de transporte de palés.	61
5.3.3.5.1. Dimensionado	61
5.3.3.5.2. Elección del modelo	62
5.4. PRESUPUESTO	65
5.5. ANÁLISIS ECONÓMICO	67
5.5.1. Costes	67
5.5.1.1. Edificio	67
5.5.1.2. Equipamiento almacén Manual	68
5.5.1.3. Equipamiento almacén Automático	68
5.5.1.4. Coste Operativo del Personal	69
5.5.1.5. Mantenimiento	71
5.5.1.6. Otros conceptos	72
5.5.2. Cálculos	72
5.5.2.1. Descripción del libro Excel	73
5.5.2.2. Método de Cálculo	74
5.5.2.3. Resultado del análisis económico	76
6. RESULTADOS	77
7. CONCLUSIONES	78
8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	79
9. BIBLIOGRAFÍA	80

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Árbol de decisión.....	6
Ilustración 2. Estantería sencilla. Fuente: ingenieríaindustrialonline.com.....	14
Ilustración 3. Estantería doble fondo. Fuente: ingenieríaindustrialonline.com ...	14
Ilustración 4. Ejemplo de GRG. Fuente propia	19
Ilustración 5. Ejemplo bidones. Fuente propia	19
Ilustración 6. Ejemplo de palé terminado con packs de retractilado. Fuente propia	20
Ilustración 7. Ejemplo de palé terminado con cajas. Fuente propia.....	20
Ilustración 8. Almacén. Fuente propia	21
Ilustración 9. Estantería compacta. Fuente propia	22
Ilustración 10. Estantería convencional. Fuente propia	22
Ilustración 11. Listado de precarga. Fuente propia	24
Ilustración 12. Ejemplo de palé terminado. Fuente propia	25
Ilustración 13. Ejemplo de palé terminado. Fuente propia	25
Ilustración 14. Puntos más importantes del almacén. Fuente: FEM.9851	41
Ilustración 15. Ciclo simple. Fuente: FEM.9851.....	42
Ilustración 16. Ciclo combinado. Fuente: FEM.9851	44
Ilustración 17. Gráfica velocidades.....	45
Ilustración 18. Esquema de ciclo simple.....	46
Ilustración 19. Esquema de ciclo combinado	47
Ilustración 20. Puesto picking en "U". Fuente: Mecalux.....	58
Ilustración 21. Puesto picking E/S. Fuente: Mecalux.....	59
Ilustración 22. Manipulador ingrávito. Fuente: Schmalz	61
Ilustración 23. Transporte de cadenas para palés	62
Ilustración 24. Pistas de rodillos motorizados	63

Ilustración 25. Carro de transferencia.....	63
Ilustración 26. Gráfico comparación 20% aumento actividad.....	75
Ilustración 27. Gráfico comparación 100% aumento actividad	75
Ilustración 28. Gráfica de decisión	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fases 1 y 2 del Diagrama de Gantt	9
Tabla 2. Fase 3 del Diagrama de Gantt.....	10
Tabla 3. Fases 4 y 5 del Diagrama de Gantt	11
Tabla 4. Número de envases por palé.....	28
Tabla 5. Movimientos almacén.....	31
Tabla 6. Tipos de almacenamiento	36
Tabla 7. Alturas estantería	37
Tabla 8. Opciones combinación.....	38
Tabla 9. Velocidades y aceleraciones transelevador.....	47
Tabla 10. Velocidades y aceleraciones horquillas.....	48
Tabla 11. Tiempos horquillas rampa y movimiento lineal	49
Tabla 12. Tiempos ciclo horquillas.....	49
Tabla 13. Tiempos transelevador rampa y movimiento lineal.....	51
Tabla 14. Tiempo transelevador ciclo simple para P1 y P2	52
Tabla 15. Tiempos transelevador rampa y movimiento lineal.....	55
Tabla 16. Tiempo transelevador ciclo combinado	56
Tabla 17. Precio edificio.....	65
Tabla 18. Precio elementos instalación	65
Tabla 19. Presupuesto 6 pasillos	66

1. RESUMEN

El objetivo de este trabajo es dimensionar un almacén automático para palés con envases de pintura/barniz para aumentar la capacidad de almacenamiento del producto terminado, disminuir el coste del mismo y mejorar la eficiencia de la preparación de los pedidos. Se realiza el análisis económico de las posibles opciones.

El concepto fundamental es la sustitución del actual sistema de trabajo basado en "Operario a Producto" (el operario se desplaza por la planta con carretillas elevadoras a la búsqueda y recogida del producto solicitado) por el sistema de "Producto a Operario" (el producto terminado se lleva automáticamente al puesto de preparación del pedido donde es recogido por el operario sin que éste se desplace).

El trabajo se realiza considerando dos perspectivas básicas:

- Stock = Selección de productos a almacenar, cantidades y ubicación.
- Preparación de pedidos = Transporte y movimiento de los palés.

Partiendo de:

- Situación actual:
 - Stock actual = cantidad y tipología
 - Necesidad de amplificación por infra capacidad del almacén
 - Estanterías convencionales de baja altura
 - Elevado número de referencias de producto en ubicaciones no aptas para su recogida manual
 - Largos recorridos repetitivos para las carretillas/operarios
 - Históricos de pedidos y líneas por pedidos
- Previsión futura
 - Aumento del número de referencias a almacenar
 - Incremento notable del picking
 - Disminución del tamaño de pedidos
 - Mayor exigencia del servicio a cliente

Se seleccionará de los diferentes tipos de envases de producto terminado los más convenientes a automatizar, se calculará el número de palés necesario, se diseñarán y calcularán los posibles lay out de pasillos, huecos, alturas y ubicaciones y se realizará el análisis económico de la inversión en sus diferentes opciones comparándolo con el coste equivalente del actual sistema de trabajo.

1.1. PALABRAS CLAVE

Stock Palés

Picking

Estantería convencional/compacta – Operario a Producto

Sistema Automatizado – Producto a Operario

Albarán – Líneas de pedido

Diseño del almacén

Inversión / mejora de coste = análisis económico

2. ABSTRACT

The main goal of this project is the measurement of an automated warehouse to stock pallets with paint/barnish containers in order to increase the finished product storage capacity; reduce its cost and improve order picking's efficiency. The economic analysis of the possible options will be calculated as well.

The principal concept is the replacement of the working actual system based on "*Worker to Product*" (the worker moves through the plant with a fork-lift looking for the demanded product) with the system called "*Product to Worker*" (the final product is automatically carried to the picking post, where the worker takes it without moving from his workplace).

This project will consider 2 basic perspectives:

- Stock = Selection of the products which will be storage (quantity and placement).
- Order preparation = Pallets' transportation and movements.

On the basis of:

- Actual situation
 - Actual stock = quantity and typology
 - Necessity of enlargement due to insufficient storage capacity
 - Low height conventional shelves
 - High number of product references situated in locations not suitable for manual collection
 - Long and repetitive paths for workers/ fork-lifts
 - Order history and order lines
- Future forecast
 - Increase in the number of total references to storage
 - Increase of picking
 - Decrease in orders' size.
 - Greater demand for customer service

Among the different kind of finished products, they will be selected the most convenient to automate. It will be calculated the pallets's number needed; it will be calculated and designed the possible lay-out of corridors, gaps, heights and locations.

Finally, it will be calculated the economic analysis of the different options and it will be compared with the equivalent cost of the actual work system.

2.1. KEY WORDS

Pallets stock

Picking

Conventional/Compact Shelve – Worker to product

Automated system – Product to worker

Delivery note – Order lines

Warehouse sketch

Inversion / cost improvement = economic analysis

3. INTRODUCCIÓN

3.1. ENUNCIADO

El trabajo consiste en dimensionar un almacén automático para palés de madera con envases de pintura/barniz, para aumentar la capacidad del stock de producto terminado, disminuir el coste de gestión del mismo y mejorar la eficiencia y el coste de la preparación de los pedidos, así como el análisis económico de las posibles opciones en comparación con ampliar del almacén y mantener el actual sistema de trabajo.

3.2. MOTIVACIÓN

Se ha elegido este trabajo por resultar muy atractivo al reunir varios aspectos:

- Es un caso de la vida real, tanto los datos iniciales como el objetivo final.
- No tiene una solución única, sino que exige considerar y evaluar múltiples opciones hasta elegir una definitiva.
- Lleva asociado una necesidad económica de mejora de procesos.

Como inicio del desarrollo profesional desde el punto de vista de Organización Industrial, este trabajo es un buen ejemplo de la necesidad existente en el mundo industrial, en cuanto a mejora de procesos para disminuir coste y eficiencia, que redundará en una mayor competitividad de la empresa dentro de su mercado.

3.3. OBJETIVO

La empresa está en fase de expansión y necesita ampliar sus instalaciones, tanto a nivel de almacén como de sistema de producción.

El primer aspecto que la Empresa ha decidido afrontar es la situación actual del almacén de PT, que es crítica porque el nivel de stock está ya por encima de su capacidad, generando ineficiencias.

Como primera opción la Dirección ha analizado la posibilidad de contratar un operador logístico externo que realice la gestión del almacén, liberando los actuales 5.500 m² que ocupa el recinto actual de almacén para dedicarlo a otras funciones.

El resultado de este estudio no ha sido favorable, quedando descartada por las características del producto (inflamabilidad), por la distancia desde la planta a los posibles operados logísticos externos, por el coste operativo y por la dificultad de adaptación de los sistemas de gestión de la Empresa y el posible Operador externo.

Tomada la decisión de la solución interna, existen dos opciones:

1. Almacén tradicional de trabajo manual en baja altura, como es el actual, que requiere elevada extensión en superficie y abundante mano de obra.
2. Almacén en altura, para aprovechar el espacio aumentando la densidad de almacenamiento de producto (Kg/m²). Dos posibilidades:
 - Almacén Manual: Solo válido para altura inferior a 14 m.
 - Almacén automático: Mayor coste de inversión.

El árbol de decisión para elegir el tipo de almacén sería:

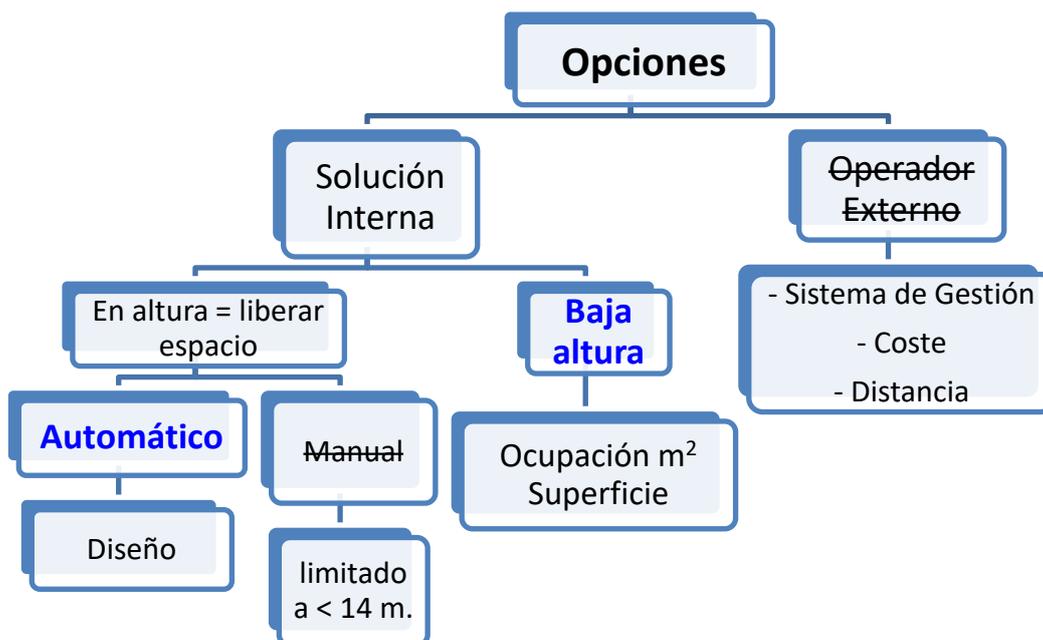


Ilustración 1. Árbol de decisión

El objeto del presente proyecto es realizar el estudio de viabilidad del almacén automático en altura en dos aspectos:

1. Dimensionado y diseño del mismo
2. Análisis económico de la inversión frente al almacén manual de baja altura. La mejora de costes vendrá dada por la supresión de mano de obra directa en el almacén automático. Habrá que valorar si compensa el coste de la inversión a medio/largo plazo.

El desarrollo del trabajo se ha estructurado en las siguientes fases:

- Situación de partida. Estado del proceso actual. Adquisición de datos.
- Previsión futura (estimada por la empresa)
- Análisis de toda la información y toma de decisiones.
- Diseños posibles. Elección de los más adecuados.
- Diseño del lay out = disposición de los elementos.
- Presupuesto estimado.
- Análisis económico de la inversión.

3.4. UBICACIÓN

Planta de fabricación de esmaltes y barnices ubicada en la provincia de La Rioja.

La instalación se situará en una nave de nueva construcción que se adecuará al terreno disponible, a las condiciones de edificación del plan urbano/industrial de edificación del municipio y las necesidades del almacén diseñado.

3.5. ANTECEDENTES

Históricamente, la planta dispone de un almacén para el producto terminado y su posterior expedición que ha ido cubriendo las necesidades de la misma.

A lo largo de los años, las exigencias del mercado han ido cambiando, en la línea de aumentar el número de referencias a ofertar, la adquisición de otras compañías con sus propios productos, la tendencia a la fabricación de productos a medida del cliente y una mayor rapidez en el servicio.

Estos hechos han llevado a que se alcance la saturación del almacén, agravada por la naturaleza peligrosa del producto a almacenar (mayoritariamente inflamables), que impide aumentar la densidad (kg/m^2) de almacenamiento.

Ante esta situación, la empresa ha decidido tomar medidas y construir un nuevo almacén que cubra las necesidades de los próximos 20-25 años.

Las tres necesidades a satisfacer son:

- Aumentar la capacidad de almacenamiento.
- Incrementar la capacidad/velocidad de respuesta en preparación de pedidos
- Disminuir el coste de almacenamiento y de la preparación de pedidos.

Como la nave destinada a almacén será de nueva construcción, puede adaptarse, dentro de las posibilidades, a la distribución que mejor satisfaga a los nuevos requerimientos. Entre estas posibilidades, está la de albergar un almacén automático de palés.

3.6. PLANIFICACIÓN

Se ha incluido un diagrama de Gantt para tener una visión general del tiempo que costaría realizar el análisis detallado para poder tomar la decisión del tipo de almacén más adecuado a diseñar.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Fase 1: Estudio de la situación actual															
Descripción detallada del producto a almacenar	■														
Descripción del tipo de almacenamiento		■													
Descripción del tipo de trabajo			■												
Descripción de los recursos con los que se cuenta			■	■											
Situación actual de almacenamiento					■										
Estimación futura						■	■								
Análisis del espacio disponible							■	■							
Cierre del estudio inicial									■						
Fase 2: Descripción del producto a almacenar															
Tipología del producto a almacenar										■					
Selección de envases a almacenar											■	■			
E/S necesarias por hora													■	■	
Cierre de la descripción															■

Tabla 1. Fases 1 y 2 del Diagrama de Gantt

Semana	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
Fase 3: Dimensionado del nuevo almacén																						
Estudio de los diferentes tipos de almacén																						
Cálculo de altura necesaria																						
Cálculo de longitud necesaria																						
Cálculo del número de pasillos necesarios																						
Cálculo del ciclo de trabajo del transelevador																						
Cálculo del número de transelevadores necesarios																						
Cálculo del número de puestos de picking necesarios																						
Cálculo de las pistas de transporte																						
Cálculo de un presupuesto estimado																						
Cierre del dimensionado																						

Tabla 2. Fase 3 del Diagrama de Gantt

Semana	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Fase 4: Análisis económico												
Cálculo de la inversión inicial (edificio)	■											
Cálculo de la inversión inicial (manual)		■										
Cálculo de la inversión inicial (automático)		■										
Cálculo del coste de personal (manual)			■									
Cálculo del coste de personal (automático)			■									
Cálculo del coste de mantenimiento (manual)				■								
Cálculo del coste de mantenimiento (automático)				■								
Comparación de costes manual-automático					■							
Cierre del análisis económico						■						
Fase 5: Toma de decisión												
Tomar la decisión para el nuevo almacén							■	■	■	■		

Tabla 3. Fases 4 y 5 del Diagrama de Gantt

4. ESTADO DEL ARTE

El almacenamiento en la empresa se entiende como el proceso funcional de la compañía en el que se guardan los materiales necesarios para el proceso productivo y el stock que más tarde será vendido. Actualmente el almacenamiento ha adquirido una gran importancia, ya que es un factor crucial para la mejora del rendimiento y la eficacia en la empresa.

Por eso los almacenes se han convertido en uno de los eslabones más importantes en la cadena de suministro, debido a que son los encargados de la recepción, custodia, conservación y control de todos los productos requeridos.

Los almacenes pueden clasificarse según varios aspectos como puede ser la actividad empresarial, el proceso logístico o el nivel de automatización.

En este caso nos centraremos en el nivel de automatización del almacén.

La automatización supone una gran ventaja competitiva en el mercado, pero requiere de un análisis de los procesos para determinar el nivel de automatización que se debe aplicar. Así se consiguen beneficios como la reducción de los costes de operación, la mejora de la productividad y la eficiencia en los procesos.

La implementación de procesos automatizados está encaminada a minimizar lo máximo posible el error humano, a optimizar las áreas de almacenamiento, a controlar la gestión de inventarios, mejorar los tiempos de servicio y hacer rentables las operaciones.

(MBA, s.f.) (Daifuku, s.f.) (Caurin, s.f.)

Dentro de esta clasificación, según el nivel de automatización, destacan dos tipos de almacenes:

4.1. ALMACENES CONVENCIONALES

Los almacenes convencionales (o rack selectivo) son los que se han construido siempre y su funcionamiento no está basado en la automatización, sino en las operaciones realizadas por los operarios. Esto es, en estos almacenes son los operarios los que tienen que desplazarse hasta la mercancía, ya sea para retirar los artículos, para el proceso de picking o transportarlos a otro emplazamiento.

Aunque este tipo de almacenamiento se basa en un sistema de manipulación manual, también se pueden encontrar otros elementos como pueden ser carretillas elevadoras o transportadoras. Este tipo de almacén también permite la combinación de estanterías para carga paléizada (niveles superiores) con estanterías para carga manual para picking (niveles inferiores).

Las principales ventajas de este tipo de almacenamiento son:

1. Accesibilidad.

Posibilidad de acceder a todas las cargas en cualquier momento por lo que estas estanterías de almacenaje son adaptables a una gran cantidad de tipos de empresas y aplicaciones.

Es muy buena opción en el caso de que exista un gran número de referencias, pero pocas unidades en cada referencia. Además, también es adaptable a cualquier tipo de carga en cuanto a peso o volumen.

2. Ahorro del espacio disponible.

Se logra aprovechar al máximo el espacio disponible debido a que las estanterías pueden adaptarse perfectamente al espacio y mantener el orden en la mercancía almacenada. Del mismo modo se pueden emplear los niveles inferiores para llevar a cabo la preparación de pedidos.

3. Disminución de costes.

Es flexible y económico, ya que su implementación es sencilla y su gran capacidad de adaptabilidad facilita los cambios que una empresa pueda necesitar en un momento dado.

4. Seguridad.

Al tratarse de una instalación no automática en la que la presencia de personas es constante, es necesario un exhaustivo criterio de seguridad como protecciones de esquina o cierres de seguridad para evitar el desprendimiento de objetos en niveles elevados.

El mantenimiento en estas instalaciones es fundamental para evitar estos riesgos o el aumento de los mismos.

Las principales desventajas de este tipo de almacenamiento son:

1. En el caso de contar con estanterías de doble fondo facilita la salida física de mercancía por el método (FIFO).

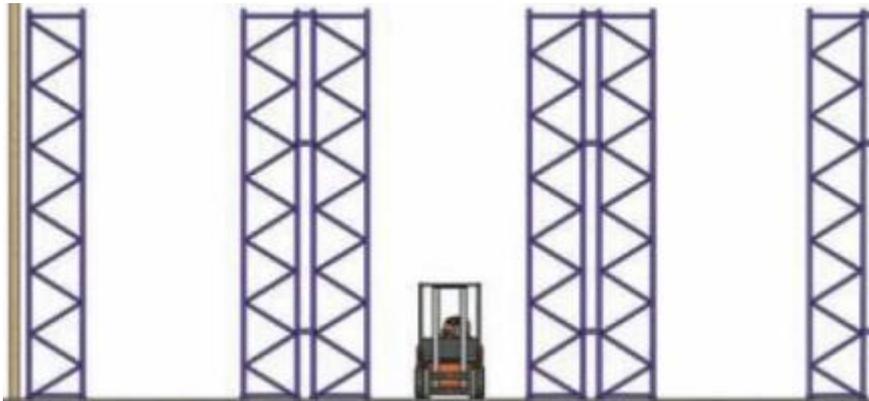


Ilustración 2. Estantería sencilla. Fuente: ingenieríaindustrialonline.com

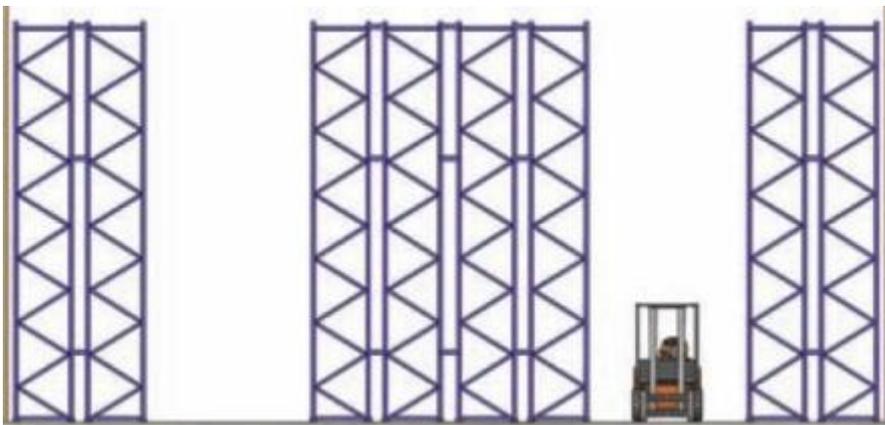


Ilustración 3. Estantería doble fondo. Fuente: ingenieríaindustrialonline.com

2. El volumen de mercancía que se puede almacenar está limitado por los medios de manipulación, esto es, las carretillas determinarán la amplitud de los pasillos.
3. El volumen de mercancía a almacenar queda limitado por los medios de transporte con los que se cuente.
4. La mayor parte de la superficie disponible de almacén se dedica a los pasillos, por lo que se pierde mucho espacio.

(Mecalux, <https://www.mecalux.es>, s.f.) (Systems, s.f.) (López, s.f.) (Atox, s.f.)

4.2. ALMACENES AUTOMATIZADOS O AUTOMÁTICOS

Los almacenes automáticos se han convertido en un elemento estratégico dentro de la cadena de suministro. En un mercado competitivo y con *lead time* (tiempo desde que se hace un pedido al proveedor hasta que se entrega el producto al cliente) cada vez más

ajustados, las empresas apuestan por la automatización para lograr una mayor productividad y prestar un servicio más ágil y eficiente.

Un almacén automático es una instalación logística en la que máquinas y sistemas automáticos se encargan de llevar a cabo las operaciones de recepción y almacenaje de mercancías y la preparación y expedición de pedidos; garantizando la agilidad y seguridad.

Un almacén automático es una solución muy apropiada para lograr un movimiento ágil, fluido y seguro de la mercancía. Del mismo modo, elimina errores humanos, aprovecha toda la superficie disponible y controla el inventario a tiempo real.

Los principales elementos que conforman los almacenes automáticos son las estanterías, los transelevadores y los transportadores. Además, requiere de un SGA (sistema de gestión de almacén) que gestione y controle todas las operaciones y movimientos, incluyendo el reparto de la mercancía por las estanterías de forma lógica y eficiente.

- Transelevador

Equipo de manutención caracterizado por realizar movimientos de translación y elevación de forma simultánea para situarse a la altura adecuada para realizar la operación de apilado o recogida de la mercancía.

Se desplazan a lo largo de los pasillos del almacén y pueden alcanzar una altura de 45 metros y trabajar en anchuras de sólo 1,5 metros. El espacio que necesitan para trabajar es muy pequeño, por lo que permite tener pasillos más estrechos y así aprovechar mejor el espacio disponible.

- Transportador

Conjunto de elementos dedicados al traslado de la mercancía hasta las posiciones específicas como pueden ser los puestos de picking, la salida de palés o la zona para ser recogidos por el transelevador.

Persiguen la combinación ideal entre la eficiencia de los transelevadores y los procesos de entra, salida, expedición y manipulación de la mercancía. Pueden ser de varios tipos como mesas de rodillos, transportadores de cadenas, elevadores...

Al hablar de los almacenes automáticos es necesario hacer énfasis en que los elementos no son manipulados por personas y que su intervención es mínima. En ocasiones incluso el proceso de picking o preparación de pedidos es realizado por máquinas.

Este tipo de almacenes, generalmente, se emplean en grandes almacenes en los que el volumen de entradas y salidas es muy elevado.

Las principales ventajas de este tipo de almacenes son:

1. Reducción de costes
2. Reducción del tiempo en el proceso de manipulación de mercancías.
3. Mayor productividad
4. Ahorro de espacio
5. Reducción de movimientos
6. Mayor seguridad y precisión
7. Reducción de personal, lo que reduce los errores humanos
8. Necesitan menos espacio porque son de gran altura

Las principales desventajas que presentan estos almacenes son:

1. Gran inversión inicial
2. Es necesario realizar un exhaustivo estudio previo
3. La instalación y el software suponen un coste importante

4.2.1. Tipos de almacén automático

4.2.1.1. Tipo de edificación

Un almacén automático se puede instalar en una nave tradicional o hacer que el propio almacén constituya la edificación.

4.2.1.1.1. Nave tradicional

Por norma general se trata de un edificio de entre 13-15 metros de altura, tanto si se trata de una edificación ya existente o de nueva creación.

En su interior se colocan las estanterías, previamente calculadas para poder soportar la carga de la mercancía y los esfuerzos a los que las someten los transelevadores. Es necesario incluir en la parte superior de los pasillos una estructura adicional para sujetar los carriles superiores de los transelevadores.

4.2.1.1.2. Almacén autoportante

En este caso, el edificio está formado por las propias estanterías, sobre las que se apoya la cubierta y los cerramientos laterales del edificio.

Para la edificación de un almacén de este tipo, previamente hay que tener muy en cuenta varios factores como es el peso de la mercancía, los esfuerzos de los transelevadores o los elementos climáticos externos.

La altura que alcanza un almacén autoportante es muy superior a la de las naves tradicionales, ya que puede superar los 40 m. La principal limitación de la altura en este tipo de almacenes es la normativa local o la elevación de los transelevadores.

4.2.1.2. Tipo de mercancía

En un almacén automático puede colocarse cualquier tipo de mercancía, pero lo más común son las cajas o palés, ya que es más simple su movimiento con los transelevadores. También pueden almacenarse, especialmente en la industria textil, prendas colgadas, pero necesitan de una instalación específica.

4.2.1.2.1. Palés

Los palés son las unidades de carga más comunes en el sector industrial, ya que es el elemento más cómodo para el movimiento de todo tipo de productos.

Los almacenes automáticos para palés están formados por estanterías que ya están dimensionadas para dar cabida a los palés y cuentan con distintos tipos de transelevadores (transelevador o lanzadera) para realizar todo tipo de movimientos necesarios.

4.2.1.2.2. Cajas

Este tipo de almacenes es relativamente similar a los de palés, aunque están específicamente dimensionados y diseñados para facilitar la gestión de las cajas, más pequeñas que los palés.

4.2.1.3. Nivel de compactación

En función de la cantidad de productos a almacenar, el número de referencias y el espacio disponible, existen dos tipos de almacenes.

4.2.1.3.1. Simple profundidad

El transelevador accede directamente al palé desde el pasillo

4.2.1.3.2. Doble profundidad

En cada ubicación de las estanterías hay dos palés, uno delante de otro. La capacidad de almacenaje en este caso es superior, por lo que se necesitan menos pasillos y menos transelevadores, pero para acceder al palé que se encuentra en la posición más profunda, es necesario reubicar el otro.

A la hora de introducir los palés, es necesario la utilización del transelevador de tipo lanzadera para poder acceder a la profundidad total.

Este tipo de almacenes son recomendables para empresas que manejan un número muy bajo de referencias, pero muchas unidades por cada referencia.

4.2.1.4. Nivel de automatización

Dentro de un almacén automático, existen diferentes niveles de automatización de la instalación.

4.2.1.4.1. Semiautomático

Consta de un carro motorizado que realiza los movimientos de la mercancía dentro de los pasillos del almacén con total autonomía. Este carro motorizado requiere de un operario que deposite o extraiga la mercancía en cada ubicación y que cambie el carro de un pasillo a otro.

4.2.1.4.2. Automatización de toma de decisiones

Este tipo de almacén cuenta con un SGA que ayuda a dirigir y optimizar los procesos de manejo de la mercancía. Optimiza los procesos indicando a los operarios los pasos que deben seguir para llevar a cabo la tarea.

4.2.1.4.3. Totalmente automático

En este tipo de almacenes se ha delegado completamente el transporte y almacenaje de la mercancía a la maquinaria.

Puede existir la automatización mixta en la que la empresa cuenta con un almacén completamente automático y otro almacén tradicional para almacenar un producto en concreto o como emergencia en caso de avería del automático.

(Mecalux, <https://www.mecalux.es>, s.f.) (Mecalux, <https://www.mecalux.es>, s.f.) (Ractem, s.f.) (Esnova, s.f.) (Daifuku, s.f.) (Caurin, s.f.) (Restrepo, s.f.)

5. DESARROLLO

5.1. SITUACIÓN ACTUAL

5.1.1. Tipología del producto a almacenar

La planta fabrica pinturas, esmaltes y barnices que almacena/comercializa en envases de diferentes tamaños, desde 50 mL de capacidad hasta GRG's de 1000 L. Pasando por bidones de 200 L, envases cilíndricos y cónicos de 25 L, 20 L, 15 L, 5 L, 4 L, 0.75 L, 0.375 L...



Ilustración 5. Ejemplo bidones. Fuente propia



Ilustración 4. Ejemplo de GRG. Fuente propia

Los envases de volumen menor o igual a 5 L se agrupan en cajas o packs de retractilado, que se colocan sobre los palés de madera.

La empresa tiene como norma de obligado cumplimiento que cada palé contenga un solo producto = una referencia, que aglutina el código del producto, el tipo de envase y lote de fabricación. De esta manera se evitan errores en la preparación de pedidos. Hay que tener en cuenta que cada lote de fabricación de un código de producto concreto presenta una media de tres formatos de envasado.

El número de productos que actualmente comercializa la empresa es de unos 4500, que, a esa media de 3 tipos de envase para cada

referencia, presenta unas 13.500 posibilidades (referencias) de palés diferentes a almacenar, pudiendo existir varios palés con el mismo contenido.



Ilustración 7. Ejemplo de palé terminado con cajas. Fuente propia



Ilustración 6. Ejemplo de palé terminado con packs de retráctilado. Fuente propia

No conviven a la vez en el almacén todas las referencias al mismo tiempo. El número real de palés almacenados es de uno 5.500 aproximadamente.

Desde las plantas de producción llegan al almacén de producto terminado los palés de madera en 3 dimensiones posibles:

- Europalé = 1.200 x 800 mm
- Palés cuadrados = 1.115 x 1.115 mm (bidones de 200L)
- Palés de 1.200 x 1000 mm (GRG's)

Sobre los palés van ubicados los envases directamente, o en el caso de envases de volumen inferior a 8 L, agrupado en cajas de cartón o packs de plástico retráctilado (agrupaciones de envases).

La altura máxima de los palés es de 1.200 mm, mientras que la mínima es variable; en torno a los 250 mm incluyendo el palé. Resaltar que se observan en el almacén una cantidad importante (en torno a un 25%) de palés no completos, esto es, de altura por debajo de 660 mm.

El peso de cada palé varía, la densidad del producto envasado está entre los 0.85 kg/L y 2 kg/L. Así, el peso máximo de un palé sería de 3.000 kg en el caso más desfavorable. La realidad es que los palés con envases inferiores a 200 L no sobrepasan los 850 kg y suponen más del 95% del número total de palés a almacenar.

5.1.2. Descripción del almacenamiento

El actual almacén consiste en una nave de unos 5.500 m² sectorizada (por razones de seguridad, ya que el $\frac{3}{4}$ de la cantidad almacenada es inflamable) en 4 sectores de diferentes superficies.



Ilustración 8. Almacén. Fuente propia

Dentro de cada sector hay instalados lineales de estanterías convencionales (95%) y estanterías compactas de baja altura (el estante inferior por debajo de 4 m) en diferentes pasillos paralelos.

Cada pasillo tiene "hueco", entendiéndose como tal, una separación entre dos bastidores (laterales de color azul) en el caso de las estanterías convencionales; de 2.7 m de largo. En estas estanterías, se colocan los palés en diferentes alturas, (hasta 5 niveles), travesaños (color naranja), que permiten depositar 3 palés de 1.200 x 800 mm cada uno.

También existen huecos de 3.3 m para colocar 4 palés de 1.200 x 800 mm.

En el caso de las estanterías compactas, los huecos son de 1.200 mm para albergar en ellos palés de 1.200 x 800 mm. En este tipo de estantería se ubican varios palés del mismo contenido, ya que para respetar el FIFO (First In – First Out), hay que extraer el primer palé introducido, para lo cual es necesario retirar los que están delante y que se introdujeron posteriormente.



*Ilustración 10. Estantería convencional.
Fuente propia*



*Ilustración 9. Estantería compacta.
Fuente propia*

El lugar donde se ubica un palé, se denomina "ubicación" y está controlada por el ERP de la empresa, así como su contenido.

El sistema de almacenamiento es caótico. Es decir, el tipo de gestión de ubicaciones es desordenado, aleatorio, variable o libre: cualquier palé recepcionado por el almacén puede ser depositado en cualquier ubicación que esté libre en ese momento. Cuando se realiza esta operación, queda almacenado en el ERP el palé de la ubicación donde ha sido ubicado. Este sistema permite optimizar el espacio.

A pesar del que el SGA permite un almacén totalmente caótico al 100%, la realidad es que también se respeta un criterio de ordenación que consiste en priorizar la capacidad del envase (tengamos en cuenta que la diversidad es enorme: desde los GRG (IBC) de 1.000 L hasta envases de 50 ml.) más el criterio de tipo ABC, lo que lleva a que exista una distribución de los palés en los lineales que facilite en la medida de lo posible la gestión del mismo respetando el criterio de optimizar el picking.

Los bidones de 200 L y los GRG's ocupan espacios de acceso más complicado para el personal, respetando las ubicaciones más bajas (como el suelo y el primer estante) para envases de poco volumen y mayor rotación; los palés de exportación directa se ubican en zonas concretas...

5.1.3. Sistema de trabajo: "Operario a Producto"

La tipología de los pedidos consiste en muchas líneas de pedido con pocas unidades por línea y de volúmenes dispares. Hay pedidos con más de 80 referencias distintas.

No es viable sacar los palés de las ubicaciones para llevarlos a una zona exclusiva de consolidación de pedidos, tanto por el número de movimientos al día como por la falta de espacio para ello. Se preparan directamente en las ubicaciones.

El procedimiento actual de trabajo para la preparación de pedido consiste en:

- 1) Desde la oficina de gestión de expediciones se lista una "precarga" = un listado con las "líneas del pedido", que incluye para cada línea, además de otros datos:
 - a. Código de producto
 - b. Lote de fabricación (El ERP se encarga de garantizar el FIFO)
 - c. Ubicación del palé
 - d. Número de envases a recoger
 - e. Capacidad del envase

Como no es conveniente apilar envases de mayor volumen sobre envases de pequeño volumen (por ejemplo, un envase de 27 L. o de 200 L. encima de una caja con envases de 100 ml), la lista de trabajo que genera el sistema está ordenada por capacidad de envase en orden descendente, para recoger primero los envases de

mayor tamaño, que irán en la base del palé, e ir colocando encima de ellos los de volumen inferior. Dentro de la misma capacidad, se ordenan por pasillos y en cada pasillo por ubicación (ver ilustración 8) para optimizar el recorrido de las carretillas.

En la figura 8 se muestra un extracto de uno de estos listados.

Refer./Fabr	Ubica.	Can	Envase	ONU /Etiqu	Denominación	Pedido
F6988/5503	1C201C	1	15.000L	1263/3 P	PINTURA CLOROCAUCHO SUELO	13654*
A2732/5646	1D022I	2	15.000L	1263/3	BARNIZ HORMIGON IMPRESO	13654*
I6784/5511	2B063C	3	15.000L		PINTURA PISTAS DEPORTIVAS	13654*
C6788/5533	2E081C	1	15.000L		PINTURA PISTAS DEPORTIVAS	13654*
C6788/5734	2E081C	1	15.000L		PINTURA PISTAS DEPORTIVAS	13654*
A6925/5676	2I061C	2	15.000L		PINTURA PISTAS DEPORTIVAS	13654*
F6717/5552	1B021I	1	12.000L	1263/3 P	PINTURA EPOXI SUELOS ROJO	13654*
K0780/5620	1A061C	1	4.000L	LQ	CATALIZADOR EPOXI SUELOS	13654*
.2921/5547	1A081C	2	4.000L	LQ	BARPIDECOR ALTA PROTECCIO	13654*
.2792/5412	1A091C	2	4.000L	LQ	BARPIDECOR PALISANDRO	13654*
K0851/5426	1A111D	4	4.000L	1993/3	SUPER DECAPANTE (QUITAPI	13654*
.1983/5623	1A131C	2	4.000L	LQ	IMPRIMACION ANTIOXIDANTE	13654*
C6789/5562	1A141I	4	4.000L		PINTURA PISTAS DEPORTIVAS	13654*
A2732/5646	1A161D	4	4.000L	LQ	BARNIZ HORMIGON IMPRESO	13654*
.2743/5536	1K041I	4	4.000L	LQ	BARNIZ INTEMPERIE URETANA	13654*
.2715/5511	1K081D	2	4.000L	LQ	BARNIZ SINTETICO SATINADO	13654*
.2950/5457	1K091C	2	4.000L		BARNIZ INTERIOR AL AGUA E	13654*
.2920/5597	1K111D	2	4.000L	LQ	BARPIDECOR ALTA PROTECCIO	13654*
C6788/5432	1K121C	6	4.000L		PINTURA PISTAS DEPORTIVAS	13654*
.2918/5567	1K141I	4	4.000L	LQ	BARPIDECOR ALTA PROTECCIO	13654*

Ilustración 11. Listado de precarga. Fuente propia

- 2) Con este listado el operario de almacén coge un palé vacío y lo transporta mediante una carretilla elevadora eléctrica de tipo retráctil hasta la ubicación indicada para recoger el número de bultos asignado e ir depositándolos sobre dicho palé.

Por las dimensiones del almacén, el proceso requiere largos desplazamientos (tiempo improductivo), además de las paradas: se deja el palé del pedido de preparación en el suelo, se baja de la estantería el palé requerido, se recogen los bultos indicados, se vuelve a colocar el palé en su ubicación, se recoge el palé del pedido en preparación y se pasa a la siguiente ubicación.

- 3) Cuando el pedido está terminado, se procede al "cierre del palé", envolviéndolo en plástico y etiquetándolo, quedando preparado para su expedición.



Ilustración 13. Ejemplo de palé terminado. Fuente propia



Ilustración 12. Ejemplo de palé terminado. Fuente propia

5.1.4. Recursos empleados

Actualmente, en el almacén se trabaja a dos turnos de 8 horas durante 1752 horas/año y turno.

Cada turno dispone de 7 operarios con 7 carretillas elevadoras (una cada uno), que realizan varias funciones:

- Entrada de palés desde la planta
- Preparación de los pedidos según los descrito anteriormente
- Reubicación de mercancías para optimizar espacio
- Expedición y carga de los palés en camiones

5.1.5. Datos de partida

- Stock de almacén en su mayor volumen. Datos incluidos en las tablas Excel en el anexo.
- Datos de los años 2018, 2019 y 2020 en formato de tablas Excel con movimientos de producto, por meses y acumulados anuales; con los albaranes y el desglose de líneas de cada uno; con las unidades (bultos) requeridos y la capacidad de los envases a recoger. Además, también se incluye otra información menos relevante como el número de albarán, de pedido...

5.1.6. Previsión futura

La tendencia del mercado es ir disminuyendo el tamaño medio del pedido, el volumen de los envases y un tiempo de servicio más corto.

Por ello, teniendo en cuenta que el horizonte de utilidad de la inversión es, al menos de 20 años, las medidas que desea aplicar la empresa se concretan en:

- Incrementar la capacidad del stock de manera notable: al menos duplicar el stock actual
- Incrementar la capacidad de preparación de pedidos = varios puestos de preparación simultánea de pedidos.
- Disminución del coste de preparación de los pedidos.

5.1.7. Espacio disponible

La empresa ha indicado que se dispone de un terreno de 76x65 metros en el que se realizará la instalación de la nueva nave.

Por las limitaciones urbanísticas, la altura máxima de la nave debe ser de unos 25 metros aproximadamente.

Para la construcción de la nueva nave se ha consultado con fabricantes sobre el sistema constructivo más adecuado: nave tradicional o almacén autoportante.

Un almacén autoportante está formado por estanterías similares a las tradicionales, pero deben ser capaces de soportar los cerramientos de las fachadas y las cubiertas. Por ello, las estanterías deben calcularse no sólo para la carga almacenada y el peso propio, sino también para agentes externos como el empuje de los transelevadores, o los esfuerzos meteorológicos.

Los beneficios que se obtienen de un almacén autoportante se obtienen a partir de una altura de entre 13-15 m. Dichos beneficios son:

- Optimización del espacio.
- Construcción más rápida.
- Coste total menor que en una nave tradicional.
- Menor plazo de amortización.
- Puede desmontarse.

Sin embargo, la resistencia al fuego de un almacén autoportante es considerablemente menor que en una nave tradicional. Como en este caso el material a almacenar es un producto inflamable, se desechará este tipo de almacén y se optará por una nave tradicional.

(Mecalux)

5.2. ANÁLISIS DE LOS DATOS

5.2.1. Tipología del Stock

Se cuenta con la información proporcionada por la empresa en cuanto a las existencias de números de envases por cada formato y también el número de envases de un palé completo para cada formato, según la siguiente tabla:

Capacidad	Uds/palet
GRG	1
200	4
>20	22
14-17	33
10 13	22
5	72
4	96
2,5	180
1	300
0,75	300
0,375	700

Tabla 4. Número de envases por palé

En esta tabla no se han incluido los formatos de 50, 100 y 250 mL, ya que, debido a su poco volumen, sólo existe un palé para cada referencia y no está nunca completo. Por ejemplo, en el caso de los envases de 100 mL, caben más de 2.000 unidades en cada palé.

Aquí surge el primer problema, ya que, ante el volumen de picking que se realiza en el almacén, existen innumerables palés incompletos, por lo que calcular con la hoja Excel proporciona datos no fiables.

Se ha procedido a contar el número de ubicaciones disponibles en el actual almacén (unas 4.600), que están casi todas ocupadas. Además, existen palés fuera de las ubicaciones en estanterías. Se estima que estos palés suman un 8-10% sobre el total de ubicaciones existentes en las estanterías.

Tenemos con ello una cifra real del número de palés actualmente en stock, en torno a los 5.000-5.100 palés. Como la cantidad de palés de los formatos más grandes (GRG's y bidones de 200 L) es pequeña, unos 70 palés, en comparación con el resto de formatos, no se tendrá en cuenta.

Otro dato importante a considerar es la altura máxima de un palé completo, que es de 1.250 mm. Pero, al existir tantos palés incompletos, es preferible hacer un muestreo físico y se obtiene que existen unos 2.000 palés que no alcanzan los 660 mm de altura. Esta cantidad es superior a un tercio del almacenamiento. Este dato será importante a la hora de dimensionar las ubicaciones.

En resumen, tenemos:

- ✚ Número de palés: 5.000-5.100. Formato europeo (1.200 x 800 mm)
- ✚ Altura máxima: 1.250 mm
- ✚ Un 35-40% de palés de altura inferior a 660 mm.

Con estos datos, el dimensionado de almacén se considerará para unos 10.000 palés, que es el requerimiento dado por la empresa

Otra característica del stock es el alto número de referencias (código de producto – lote de fabricación – volumen envasado) frente al bajo número de palés con la misma referencia. El stock presenta un elevado porcentaje de palés mono referencia (superior al 75%).

5.2.2. Selección de envases a considerar

Destacar los GRG's de 1000 L y los bidones de 200 L con respecto al resto de envases, menores de 25 L, ya que presentan unas características particulares

- Son complicados de manipular para picking por peso y volumen
- Su peso exige a la estructura de las estanterías que los contengan una mayor resistencia y, por lo tanto, mayor coste. Especialmente si el almacén se proyecta en alturas elevadas.
- El coste de la mano de obra para su manipulación en €/kg es menor que el de los envases más pequeños, ya que con un solo movimiento se movilizan más kg de producto.
- La tendencia en el mercado es que disminuya su uso.

Estos dos formatos no se contemplarán a incluir en el almacén automático. Del resto de formatos no se excluirá ninguno. Todos se incluirán en el estudio.

También es necesario conocer el número de movimientos que realiza el almacén en cuanto a entradas y salidas de los palés.

Entradas: Están definidas en los datos proporcionados por la empresa

Salidas: Se considera que cada línea de albarán es un movimiento de salida.

La información que no está disponible es el número de estas salidas que son sin retorno, esto es, palés que salen al completo, de manera que no se recogen bultos de él y vuelve a tener que entrar en el almacén.

Haremos una estimación por diferencia entre el número de entradas y salidas de los palés que vuelven a entrar en el almacén tras el picking correspondiente.

Con los datos de líneas de albaranes aportados por la empresa de los años 2018, 2019 y 2020, se ha realizado el estudio de movimientos de los diferentes formatos de envases en función de sus capacidades.

A continuación, se muestra la tabla resumen obtenida:

	2018					2019					2020				
	ENTRADAS	E+S	SALIDAS	% (S/E)	REENTRADA	ENTRADAS	E+S	SALIDAS	% (S/E)	REENTRADA	ENTRADAS	E+S	SALIDAS	% (S/E)	REENTRADA
TOTAL	32.477	179.003	146.526			30.355	178.568	148.213			28.277	208.379	180.102		
Lineas F	67	141.135	141.068			13	142.315	142.302			255	173.789	173.534		
Lineas I	0	2.535	2.535			0	2.419	2.419			0	3.533	3.532		
Lineas V	7.439	10.362	2.923			5.144	8.636	3.492			4.950	7.984	3.036		
Q-1000	24.971	24.971	0			25.198	25.198	0			23.072	23.073	0		
GRG	717	1.371	654	0,91	-63	664	1.279	615	0,93	-49	529	1.025	496	0,94	-33
BIDON	1.715	4.266	2.551	1,49	836	1.569	4.003	2.434	1,55	865	1.222	3.108	1.886	1,54	664
>16 L	12.121	38.554	26.433	2,18	14.312	10.673	35.127	24.454	2,29	13.781	8.436	31.536	23.100	2,74	14.664
>13 L	3.158	12.301	9.143	2,90	5.985	3.305	13.381	10.076	3,05	6.771	3.041	14.044	11.003	3,62	7.962
>9 L	1.344	7.016	5.672	4,22	4.328	1.055	6.453	5.398	5,12	4.343	931	6.679	5.748	6,17	4.817
>5 L	2.452	11.338	8.886	3,62	6.434	2.174	11.096	8.922	4,10	6.748	2.136	11.232	9.096	4,26	6.960
>4 L	5.541	41.810	36.269	6,55	30.728	4.665	41.067	36.402	7,80	31.737	4.751	45.607	40.853	8,60	36.102
> 1,1 L	872	6.590	5.718	6,56	4.846	1.055	7.357	6.302	5,97	5.247	1.090	10.628	9.538	8,75	8.448
> 0,750 L	1.775	15.123	13.348	7,52	11.573	1.787	14.536	12.749	7,13	10.962	1.708	15.774	14.066	8,24	12.358
= 0,750 L	1.811	31.621	29.810	16,46	27.999	2.319	34.927	32.608	14,06	30.289	2.869	50.970	48.101	16,77	45.232
> 0,375 L	139	1.604	1.465	10,54	1.326	190	1.781	1.591	8,37	1.401	202	1.919	1.717	8,50	1.515
= 0,375 L	443	4.427	3.984	8,99	3.541	549	4.582	4.033	7,35	3.484	657	5.508	4.851	7,38	4.194
> 0,250 L	12	250	238	19,83	226	9	260	251	27,89	242	43	330	287	6,67	244
= ,0250 L	56	486	430	7,68	374	105	590	485	4,62	380	205	3.066	2.861	13,96	2.656
> 0,125 L	9	20	11	1,22	2	13	24	11	0,85	-2	12	35	23	1,92	11
= 0,125 L	238	989	751	3,16	513	120	874	754	6,28	634	109	952	843	7,73	734
= 0,100 L	51	703	652	12,78	601	80	775	695	8,69	615	291	5.338	5.047	17,34	4.756
= 0,050 L	23	534	511	22,22	488	23	456	433	18,83	410	42	628	586	13,95	544
SUMA	32.477	179.003	146.526	4,51	114.049	30.355	178.568	148.213	4,88	117.858	28.274	208.379	180.102	6,37	151.828
E+S+REENT		293.052					296.426					360.207			

Tabla 5. Movimientos almacén

Para cada año se ha realizado la estratificación por formatos del número de entradas y salidas al almacén.

➤ Filas de la tabla:

Las cuatro primeras líneas, de tipos F, I, V y Q, corresponden a códigos internos de la empresa que identifican el tipo de albarán:

- F = Servicio a exterior
- I = Venta directa
- Q = movimiento por pistola de radiofrecuencia
- V = Regularizaciones por caducos, defectos de calidad, ...

En principio sin utilidad para este trabajo.

En las siguientes líneas están los valores obtenidos de entradas y salidas por cada formato.

➤ Columnas de la tabla:

La marcada con “%” calcula la relación de movimientos de salida con respecto a los de entrada. Mencionar que, a medida que disminuye el volumen del envase, se observa que el número de salidas se incrementa considerablemente respecto al de entradas, señal inequívoca de que, a menor tamaño de envase, mayor exigencia de picking.

La columna de “reentrada” calcula la diferencia de salidas y entradas. Esto se debe a que, al realizar un pedido, no siempre salen palés completos, sino que son devueltos incompletos a la estantería tras realizar el picking necesario. Este dato lo consideraremos como el incremento de entradas a realizar al almacén automático como consecuencia de palés que salen y deben volver a entrar tras el proceso de picking.

➤ Comparativa de los años de la tabla:

Destacar varios aspectos:

- Aumento de movimientos producidos en el 2020 respecto a los años anteriores: de 179.000 a 208.000 = +16%
- Disminución progresiva de los movimientos de envases de mayor formato:

- GRG's: 1.371 – 1.279 – 1.025
- Bidones de 200 L: 4.266 – 4.003 – 3108
- Envases de >16 L: 38.554 – 35.127 – 31.536
- Incremento de movimientos de los envases de formato pequeño:
 - 0.100 L: 703 – 775 – 5.338
 - 0.250 L: 468 – 485 – 3.066
 - 0.375 L: 4.427 – 4.582 – 5.508
 - 0.750 L: 31.621 – 34.927 – 50.970
 - >1 L: 6.590 – 7.357 – 10.628

En resumen, tenemos que en 2020, la suma de Entradas + Salidas + Reentradas = 360.000 movimientos.

Tendríamos que estimar un 20-25% más; lo que nos exige realizar entre 432.000 y 450.000 movimientos al año.

5.2.3. Movimientos necesarios

Otro de los parámetros necesarios a tener en cuenta es el número de palés por hora a movilizar.

Tendríamos que estimar un 20-25% más respecto a lo calculado anteriormente, lo que nos exige realizar entre 432.000 y 450.000 movimientos al año.

Para realizar este cálculo se necesitarán los resultados obtenidos en la Tabla 4.

Se partirá de los datos del año 2020, ya que es el año en el que se realizaron más movimientos.

Tomando del convenio que se trabajen 219 días al año y computando los días reales de trabajo del almacén, salen 235 días/año, y con ello se obtiene:

$$\frac{450.000}{235} = 1.915 \text{ movimientos/día}$$

En la empresa se realizan dos turnos de trabajo de 8 horas cada uno, lo que es un total de 16 horas de trabajo diario. Ya que las 16

horas no son de trabajo efectivo, se tomarán 13 horas de trabajo real.
Así se obtiene:

$$\frac{1.915}{13} = 147 \text{ movimientos/hora}$$

5.3. DIMENSIONADO Y DEFINICIÓN

La empresa ha optado por la instalación de un almacén automático para disminuir gastos.

5.3.1. Tipo almacén adecuado

Para elegir el tipo de almacén más adecuado, tomamos como base la información de fabricantes de almacenes, en este caso Mecalux:

- Primera diferenciación en el almacén automático:

- ❖ De acceso directo a la mercancía
- ❖ Por compactación.

Para esta clasificación hay que considerar el número de referencias del stock: como se ha mencionado en epígrafes anteriores, el número de referencias es muy elevado frente al número de palés con la misma referencia.

Cada palé contiene una única referencia, por lo que el tipo más adecuado es el sistema automático de acceso directo a la mercancía.

- Elegir el tipo de profundidad:
 - ❖ Simple fondo: Se almacena en cada ubicación un solo palé.
 - ❖ Doble fondo: En cada ubicación se almacenan dos palés (en general, de la misma referencia). Para acceder al segundo, es necesario extraer previamente el primero (FIFO).

Al tratarse de un stock que cuenta con un alto número de referencias, pero un bajo número de palés para cada una de éstas, la mejor opción es la de simple profundidad.

- La última clasificación se realizará en función del número de movimientos que se realizarán:
 - ❖ Pocos movimientos (menos de 100 movimientos por hora)
 - ❖ Movimientos medios

❖ Muchos movimientos (más de 200 movimientos por hora)

Tomando el valor obtenido de movimientos/hora calculado previamente, se tiene un sistema con un número medio de movimientos.

(Mecalux, Almacenes automáticos para palets. Cómo elegir la solución más eficiente.)

A continuación, se muestra una tabla resumen con los diferentes tipos de sistema de almacenaje de acceso directo con sus respectivas características.

Sistemas de almacenaje de acceso directo						
	Paletización convencional	Paletización convencional sobre bases móviles	Paletización convencional de doble profundidad	Paletización convencional con pasillo estrecho	Paletización convencional automática	Paletización convencional automática de doble fondo
Aprovechamiento superficie						
Aprovechamiento volumen						
Acceso a cualquier palet						
Rapidez de acceso/agilidad (movimientos por hora)						
Rotación de stock	FIFO	FIFO	FIFO relativo	FIFO	FIFO	FIFO relativo
Altura último nivel	< 10 m	< 10 m	< 8 m	< 14 m	< 45 m	< 45 m
Anchura pasillos	2,20/3,50 m	3,00/3,50 m	3,00 m	1,55/1,80 m	1,55 m	1,55 m
Inversión inicial						
Equipo de manutención (carretillas)	Apilador, retráctil o contrapesada	Retráctil o contrapesada	Retráctil específica	Torre bilateral o trilateral	Transelevador	Transelevador

Tabla 6. Tipos de almacenamiento

Con esta tabla y clasificación realizada previamente, el sistema más adecuado para el almacén sería: **Paléización convencional automática de simple fondo.**

5.3.2. Capacidad

Ahora se buscará el diseño más adecuado para albergar el número de palés deseado, en función de las dimensiones del espacio disponible.

5.3.2.1. Distribución de alturas

Del análisis de datos anterior (epígrafe 4.2.1), se obtiene que deben coexistir, principalmente, dos tipos de palés:

- Altura máxima de 1250 mm
- Altura máxima de 660 mm

Y que la proporción entre ellos es entre el 25-35% de los de altura 660 mm y entre el 75-65% de altura de 1.250 mm.

Por otro lado, se cuenta con el dato que proporciona la empresa: la altura del almacén debe alcanzar en torno a los 25 m como máximo. Hay que tener en cuenta que el punto más elevado de las estanterías debe quedar aproximadamente 1 metro por debajo de la cubierta, por lo que el espacio disponible sería de en torno a los 24 m.

El hueco en altura que necesita un palé para ser ubicado incluye, además de la altura propia del palé, el travesaño de estantería donde irá apoyado, más el posible sistema de extinción de incendios (rociadores), más la holgura necesaria para levantar el palé a la hora de ser extraído o de ser introducido. De esta manera, se tiene que, para el palé de 1.250 mm, la altura necesaria es de 1.650 mm. Para el palé de 660 mm, la altura necesaria es de 1.060 mm.

Además, en el primer nivel de almacenamiento, a la altura del suelo, son necesarios otros 400 mm para acceso a la estantería.

En la siguiente tabla se han barajado las distintas opciones de combinaciones.

Se ha marcado en gris la opción más adecuada: $11 + 5 = 16$ alturas.

Alturas	
Palet (mm)	Hueco (mm)
1.250	1.650
660	1.060
Primer nivel	400

Tabla 7. Alturas estantería

Nº palets altos	13	12	12	11	11
Nº palets bajos	4	5	4	5	6
% altos / Total	76,47%	70,59%	75,00%	68,75%	64,71%
% bajos / Total	23,53%	29,41%	25,00%	31,25%	35,29%
Altura total (mm)	26.090	25.500	24.440	23.850	24.910

Tabla 8. Opciones combinación

- 11 alturas de palé de 1.250 mm: $11 \times 1.650 = 18.150$ mm
- 5 alturas de palé de 660 mm: $5 \times 1.060 = 5.300$ mm
- Altura total de las estanterías más el suelo necesario: 23.850 mm

Suficiente para dejar 1 m bajo cercha de la cubierta de la nave. Si la empresa fuera capaz de "estirar" hasta los 26/27 m de nave, podría optarse por una solución de 17 palés en altura (12+5 ó 11+6), lo que incrementaría la capacidad del almacén.

Esta solución satisface la proporción deseada en % de palés de cada altura:

- % palés de 1.250 mm: $11/6 = 69\%$
- % palés de 660 mm: $5/16 = 31\%$

Se ha incluido en el anexo (plano 00) las dimensiones de una estantería y los huecos para los palés de 1.250 mm y los de 660 mm

5.3.2.2. Lineales de estantería

Una vez definida la altura de las estanterías y el número de palés aceptados (11+5=16), se verá la longitud posible para los lineales para calcular el número de pasillos y "huecos" a emplear.

El lineal será una sucesión de pilares y travesaños (estantes) a diferentes alturas donde se ubicarán los palés con la mercancía. Para su cálculo, se tendrá en cuenta la longitud de cada hueco, la dimensión del terreno/edificio y los espacios en cabeza y fin necesarios.

El elemento determinante es la longitud máxima del terreno donde se ubicará el almacén, que es de 76 m. En él se deben ubicar los lineales de estanterías, las cabeceras del almacén con los sistemas de transporte y el espacio al final del lineal para realizar el mantenimiento de los equipos.

Longitud del hueco: las estanterías a utilizar son de entre 2.6 – 2.7 metros, en función del fabricante. Esta dimensión es muy versátil, ya que permite almacenar en cada una de ellas 3 palés europeos (1.200x800 mm) o bien dos de 1.200x1.200 mm.

A la longitud del travesaño hay que añadirle el ancho del puntal (elemento vertical que soporta el peso) para tener la dimensión de cada uno de los huecos: 3.160 mm.

Espacio de cabecera: Consultado con ingenierías, se necesita sobre 6.400 mm para la zona de dejar/recoger/espera de los palés, además de otros 4.600 mm para los transportadores de rodillos de y hacia la planta.

Espacio de final del lineal: Necesario para mantenimiento. Sobre 2.900 mm.

De esta manera, sobre los 76 metros disponibles, restamos los 2.9 del final del lineal para mantenimiento y los 11 de la cabecera. Así, quedan:

$$76 - 2.9 - 11 = 62.1 \text{ m disponibles}$$

Dividiendo el espacio disponible entre la longitud de cada hueco se obtiene el número de huecos que admite cada lineal:

$$\frac{62.1}{3.16} = 19.65 = 19 \text{ huecos} = 60.040 \text{ m.}$$

Como el almacén va a ser de simple fondo y se cuenta con 16 palés/hueco, y con 3 palés por hueco, se obtiene:

$$19 * 3 * 16 = 912 \text{ palets/lineal}$$

5.3.2.3. Número de pasillos

Como el stock actual de palés es de entre 5.000-5.500 palés y se desea almacenar el doble (10.000-11.000 palés), serán necesarios entre 5 y 6 pasillos.

Un pasillo es el espacio entre dos lineales de estantería por donde se desplazará un transelevador para el transporte de los palés entre su ubicación en la estantería a la zona de disposición para pedidos, o bien entre la zona de recepción y la estantería.

Como el número de lineales debe de ser par (2 por pasillo), tendremos que recurrir a 6 pasillos en total.

La capacidad total sería de:

$$912 * 6 * 2 = 10.944 \text{ palets}$$

Si la empresa considera suficientes 5 pasillos:

$$912 * 5 * 2 = 9.120 \text{ palets}$$

Tiene también la opción de instalar ahora 5 pasillos, dejando para un posible futuro la ampliación a 6 pasillos (ahorro inicial de inversión).

El ancho de cada uno de los pasillos, considerando los dos lineales, según las ingenierías consultadas, es de 4.100 mm, más una separación de 300 mm entre ellos.

Para los 6 pasillos serían necesarios:

$$6 * 4.400 = 26.400 \text{ mm} = 26.4 \text{ metros}$$

A este valor hay que sumarle un espacio desde las estanterías hasta el cerramiento del edificio, pero como el espacio disponible es de 65 m, no hay problema.

5.3.2.4. Solución final para el almacenamiento

Así, tenemos el planteamiento definitivo del almacén:

En el anexo ver planos 01 y 02 para la planta y el alzado, respectivamente, de los lineales de estanterías.

5.3.3. Necesidades de picking / movimientos

Una vez dimensionado el almacén en cuanto a capacidad de palés, vamos a calcular el número de transelevadores (transportadores automáticos de palés desde las pistas de Entrada y Salida hacia las ubicaciones en estanterías) necesarios para cubrir las necesidades de servicio de movimientos de palés para la preparación de pedidos.

Para ello, el cálculo se ha basado en el protocolo de la Federación Europea de la Manutención (FEM) que se aplica a sistemas de almacenaje y retirada de mercancía regidas por control automático en almacenes de alta densidad: la FEM 9851 (06.2003).

Se adjunta dicho protocolo en el anexo.

Se trata de calcular tiempos de ciclo, entendiendo como tal, el tiempo que tarda un transelevador desde su posición inicial hasta que vuelve a la misma después de dar entrada o salida a un palé.

5.3.3.1. FEM 9851

El cálculo del tiempo de ciclo de trabajo real es muy complejo, ya que estima un valor medio estadístico, que resulta en una buena aproximación del valor exacto determinado en la práctica.

Este protocolo establece un criterio general para cualquier almacén automático de longitud de calle L y de altura de estantería H .

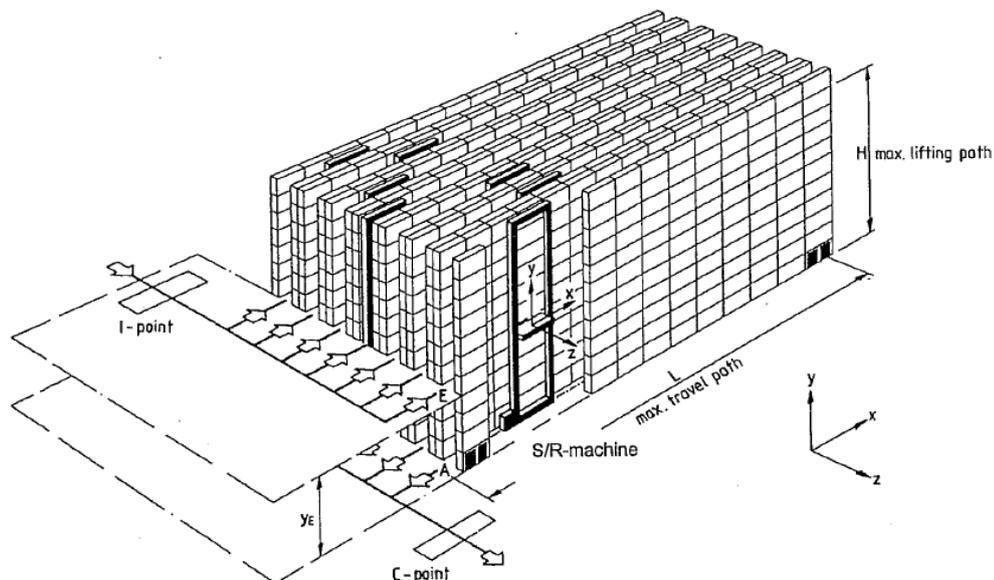


Ilustración 14. Puntos más importantes del almacén. Fuente: FEM.9851

Los valores obtenidos previamente: $H = 23.85 \text{ m}$ y $L = 62.21 \text{ m}$

Se definen dos puntos genéricos de referencia dentro del almacén (P1 y P2). Las coordenadas de estos puntos son:

- P1: $\left(\frac{1}{5}L, \frac{2}{3}H\right)$ En nuestro caso, P1: (12.42, 15.90)
- P2: $\left(\frac{2}{3}L, \frac{1}{5}H\right)$ En nuestro caso, P2: (41.40, 4.77)

Por otra parte, define otros dos puntos genéricos de comunicación con el exterior:

- E = Punto de recogida de la mercancía a almacenar.
- A = Punto donde se deposita la mercancía extraída del almacén.

En el caso que nos ocupa, el punto A y el E coinciden. Esto es, el punto de entrada y de salida del palé se ubica en el mismo lugar.

Sus coordenadas: (0,0)

5.3.3.1.1. Definición de tipos de ciclo

Se considerarán dos tipos de ciclo: Simple y Combinado:

1. Ciclo simple: El transelevador realiza el movimiento afectando a un solo palé.

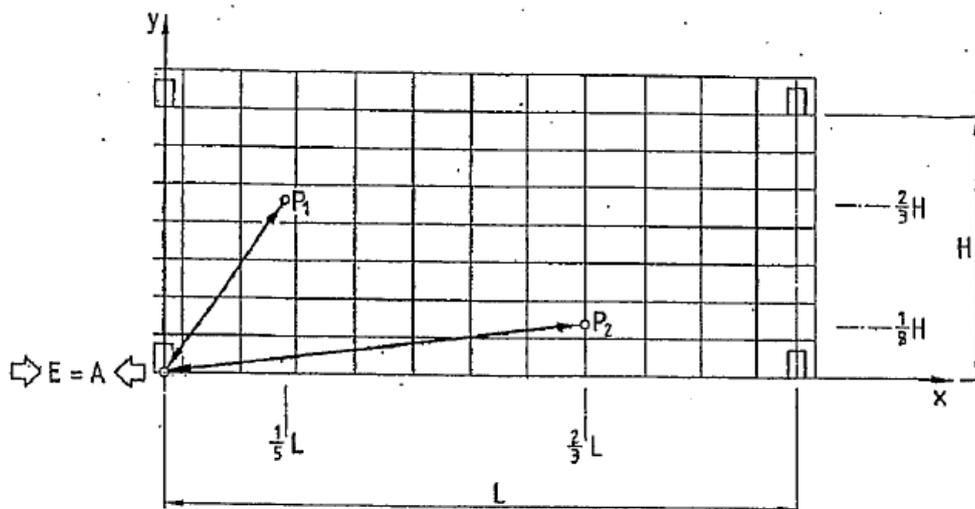
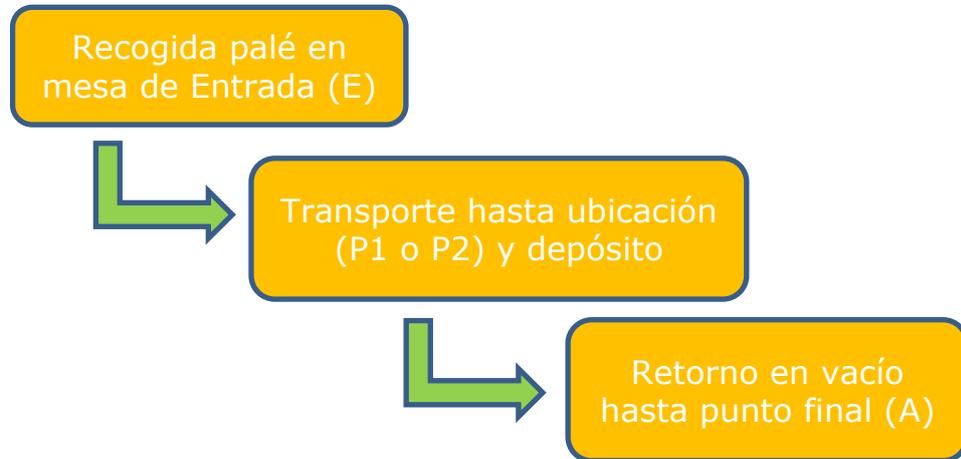


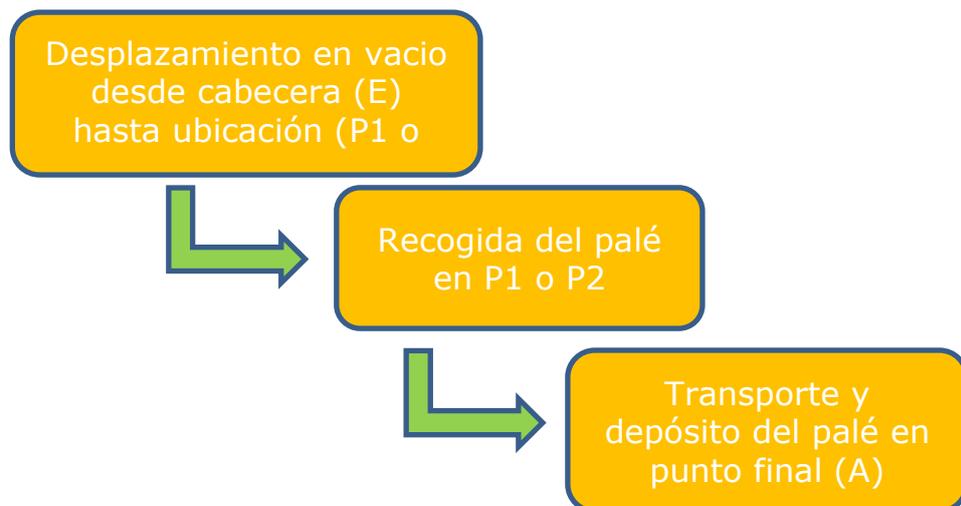
Ilustración 15. Ciclo simple. Fuente: FEM.9851

Puede haber dos operaciones:

a. Reposición o almacenaje:



b. Extracción o des almacenaje:



2. Ciclo Combinado: El transelevador realiza el movimiento afectando a dos palés, realizando en el mismo proceso la tarea de almacenaje de un palé y la extracción de otro:

Recoge el palé del punto E, lo lleva a su ubicación en la estantería (punto P1), se desplaza en vacío al punto P2 donde recoge otro palé de la estantería y lo traslada y deposita en el punto A.

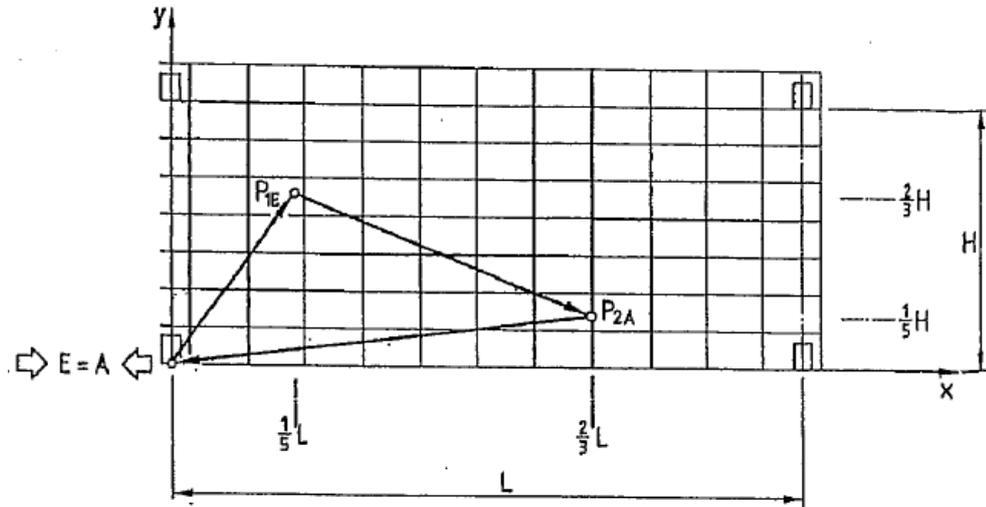
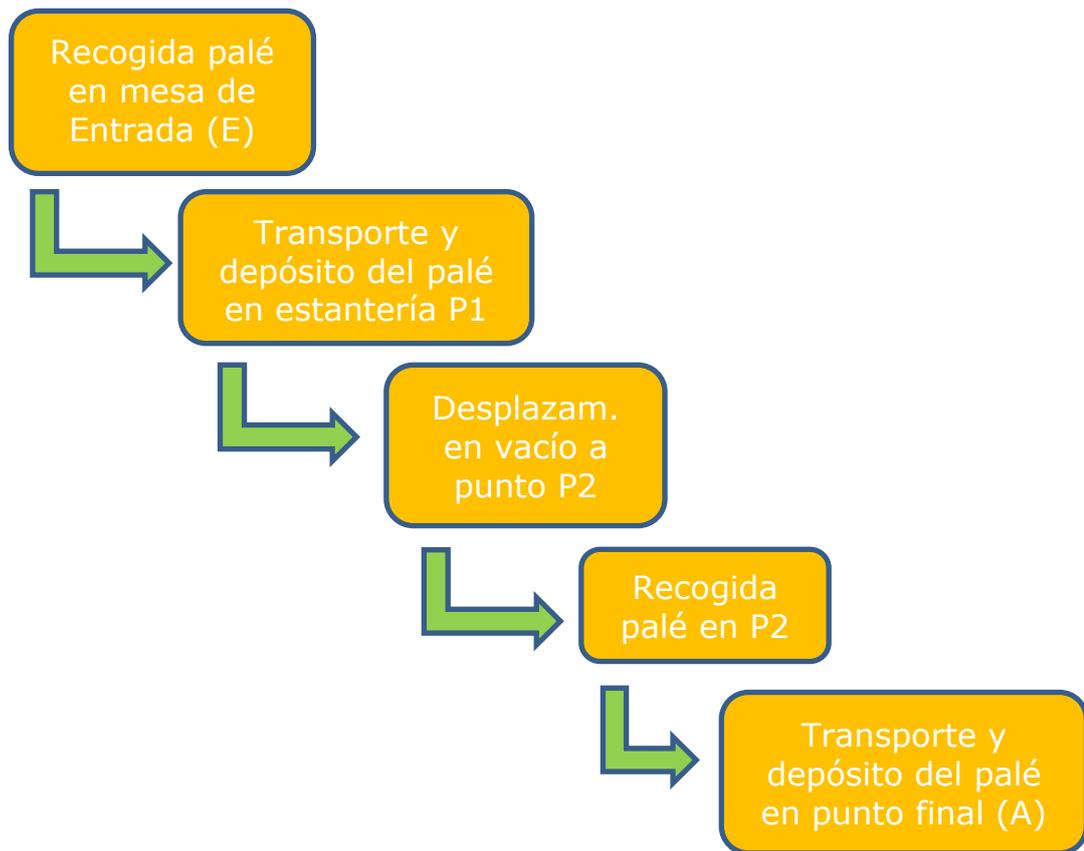


Ilustración 16. Ciclo combinado. Fuente: FEM.9851



5.3.3.1.2. Tiempos de ciclo

En el movimiento del sistema, se consideran velocidades estándar proporcionadas por el fabricante de la instalación, así como las aceleraciones y desaceleraciones requeridas para alcanzar dichas velocidades.

Tendremos para cada movimiento rampas de aceleración y desaceleración combinadas con zonas de movimiento a velocidad constante.

El cálculo se realizará en las zonas de rampa según un movimiento uniformemente acelerado ($x = x_0 + v_0 * t + \frac{1}{2} * a * t^2$).

La gráfica de velocidad en función del tiempo para cada uno de sus movimientos:

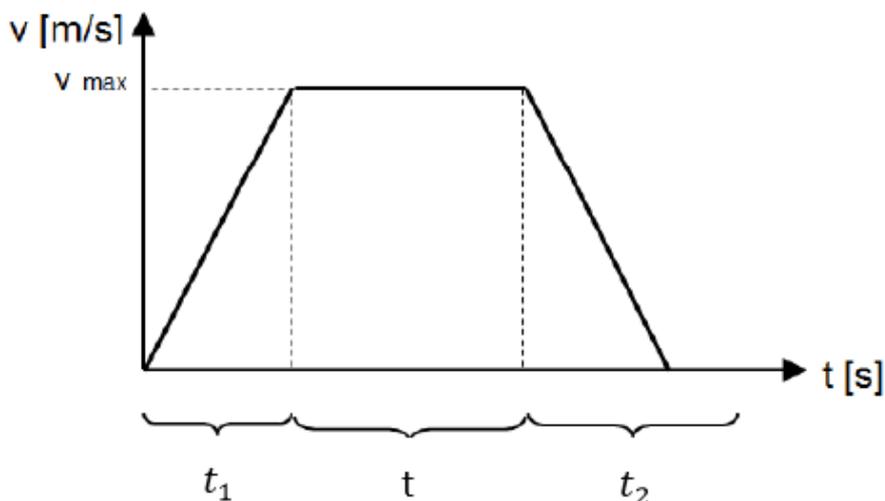


Ilustración 17. Gráfica velocidades

Los movimientos de cada ciclo donde hemos de calcular tiempos:

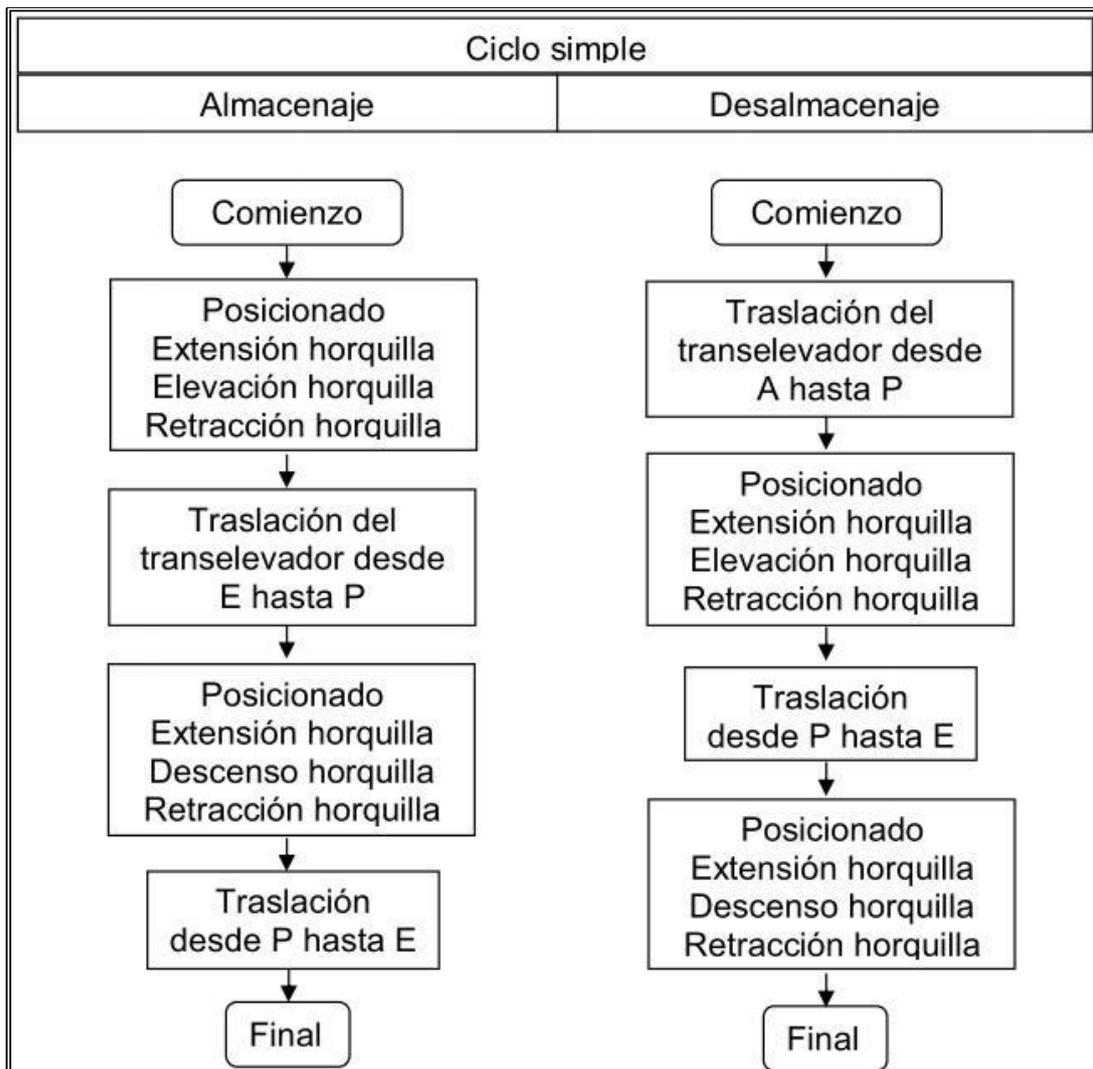


Ilustración 18. Esquema de ciclo simple

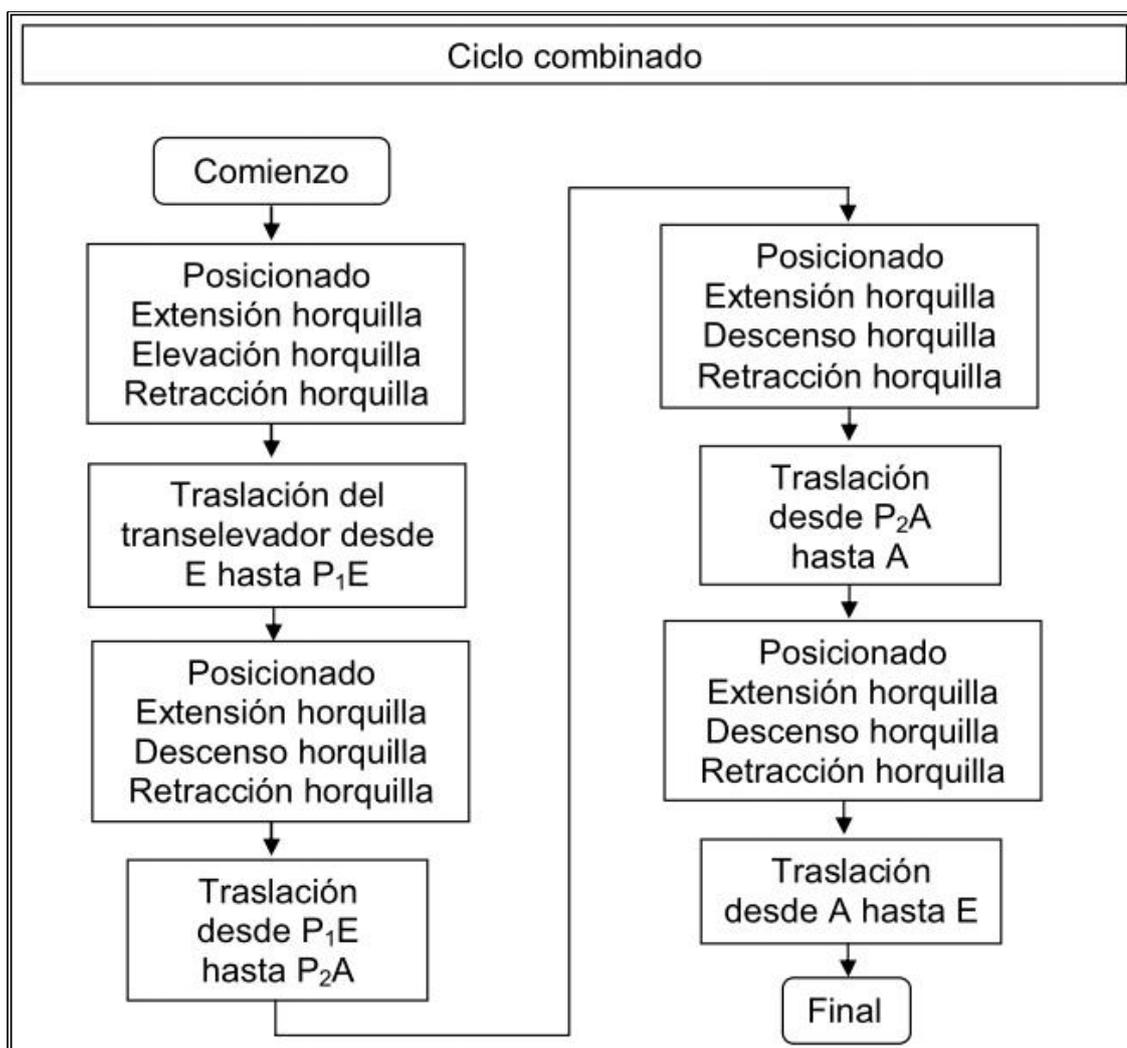


Ilustración 19. Esquema de ciclo combinado

5.3.3.2. Calculo de tiempos de ciclo

Con datos proporcionados por el fabricante, y para las dimensiones que tenemos, se tomarán los siguientes valores para los dos casos:

Movimientos transelevador			
	Velocidad (m/min)	Velocidad (m/s)	Aceleración (m/s ²)
Elevacion (eje y)	40	0,667	0,5
Traslación (eje x)	140	2,333	0,5

Tabla 9. Velocidades y aceleraciones transelevador

Movimientos horquillas transelevador			
	Velocidad (m/min)	Velocidad (m/s)	Aceleración (m/s ²)
Horquilla descargada	50	0,833	1,2
Horquilla cargada	50	0,833	0,5

Tabla 10. Velocidades y aceleraciones horquillas

5.3.3.2.1. Tiempos ciclo de E/S horquillas

El desplazamiento horizontal de las horquillas para recoger o depositar un palé es de 145 cm.

El tiempo de elevación y descenso de las horquillas se deprecia por ser muy bajo respecto de los tiempos de resto de movimientos del ciclo.

Como hay diferentes aceleraciones para horquilla cargada y horquilla descargada, se calculará un tiempo de ciclo diferente para cada uno de los dos casos.

A partir de los datos de la tabla 10, los tiempos obtenidos para las zonas de rampa y movimiento lineal en cada caso son:

- Rampa
 - Cargada

Tiempo en alcanzar velocidad máxima:

$$\frac{v_{cargada}}{a_{cargada}} = \frac{0.833}{0.5} = 1.667 \text{ sg}$$

Metros recorridos:

$$\frac{a_{cargada} * t^2}{2} = \frac{0.5 * 1.667^2}{2} = 0.694 \text{ m}$$

- Descargada

Tiempo en alcanzar velocidad máxima:

$$\frac{v_{descargada}}{a_{descargada}} = \frac{0.833}{1.2} = 0.694 \text{ sg}$$

Metros recorridos:

$$\frac{a_{descargada} * t^2}{2} = \frac{1.2 * 0.694^2}{2} = 0.289 \text{ m}$$

- Zona plana (tomando los 145 cm = r)
 - Cargada

Metros recorridos:

$$r - 2 * \text{metros cargada} = 1.45 - 2 * 0.694 = 0.061 \text{ m}$$

Tiempo en alcanzar velocidad máxima:

$$\frac{v_{cargada}}{distancia} = \frac{0.833}{0.061} = 0.073 \text{ sg}$$

○ Descargada

Metros recorridos:

$$r - 2 * \text{metros descargada} = 1.45 - 2 * 0.289 = 0.871 \text{ m}$$

Tiempo en alcanzar velocidad máxima:

$$\frac{v_{descargada}}{distancia} = \frac{0.833}{0.871} = 1.046 \text{ sg}$$

		tiempo (sg) en alcanzar la velocidad max	m recorridos
Cargada	Rampa	1,667	0,694
Descargada		0,694	0,289

		distancia a recorrer (m)	t requerido (sg)
Cargada	Zona plana	0,061	0,073
Descargada		0,871	1,046

Tabla 11. Tiempos horquillas rampa y movimiento lineal

Y los tiempos de ciclo completo de las horquillas son:

$$\text{Cargada: } t_{zona\ plana} + 2 * t_{rampa} = 0.073 + 2 * 1.667 = 3.407 \text{ sg}$$

$$\text{Descargada: } t_{zona\ plana} + 2 * t_{rampa} = 1.046 + 2 * 0.694 = 2.434 \text{ sg}$$

tiempo total ciclo (sg)	
Cargada	3,407
Descargada	2,434

Tabla 12. Tiempos ciclo horquillas

5.3.3.2.2. Tiempos de ciclo simple del transelevador

Con los puntos P1: (12.42, 15.90) y P2: (41.40, 4.77) y los datos de velocidades y aceleraciones de la Tabla 9 se obtienen los tiempos:

- Rampa

- Eje x

Tiempo para alcanzar velocidad máxima:

$$\frac{v}{a} = \frac{2.333}{0.5} = 4.67 \text{ sg}$$

Metros recorridos:

$$\frac{a * t^2}{2} = \frac{0.5 * 4.67^2}{2} = 5.44 \text{ m}$$

- Eje y

Tiempo para alcanzar velocidad máxima:

$$\frac{v}{a} = \frac{0.667}{0.5} = 1.33 \text{ sg}$$

Metros recorridos:

$$\frac{a * t^2}{2} = \frac{0.5 * 1.33^2}{2} = 0.44 \text{ m}$$

- Zona plana P1

- Eje x

Metros recorridos

$$12.42 - 2 * m_{rampa} = 12.42 - 2 * 5.44 = 1.53 \text{ m}$$

Tiempo en recorrer la zona plana

$$\frac{m}{v} = \frac{1.53}{2.333} = 0.66 \text{ sg}$$

- Eje y

Metros recorridos

$$15.9 - 2 * m_{rampa} = 41.4 - 2 * 0.44 = 15.01 \text{ m}$$

Tiempo en recorrer la zona plana

$$\frac{m}{v} = \frac{15.01}{0.667} = 22.52 \text{ sg}$$

- Zona plana P2

- Eje x

Metros recorridos

$$41.40 - 2 * m_{rampa} = 41.40 - 2 * 5.44 = 30.51 \text{ m}$$

Tiempo en recorrer la zona plana

$$\frac{m}{v} = \frac{30.51}{2.333} = 13.08 \text{ sg}$$

- Eje y

Metros recorridos

$$4.77 - 2 * m_{rampa} = 4.77 - 2 * 0.44 = 3.88 \text{ m}$$

Tiempo en recorrer la zona plana

$$\frac{m}{v} = \frac{3.88}{0.667} = 5.82 \text{ sg}$$

		tiempo (sg) en alcanzar la velocidad max	m recorridos
Rampa	x	4,67	5,44
	y	1,33	0,44
		tiempo (sg) en recorrer la zona plana	m recorridos
Zona plana P1	x	0,66	1,53
	y	22,52	15,01
Zona plana P2	x	13,08	30,51
	y	5,82	3,88

Tabla 13. Tiempos transelevador rampa y movimiento lineal

Con estos datos se tienen los siguientes tiempos de ciclo para cada punto en sentido horizontal y vertical:

- P1

- Eje x: $2 * t_{rampa} + t_{zona\ plana} = 2 * 4.67 + 0.66 = 9.99 \text{ sg}$

- Eje y: $2 * t_{rampa} + t_{zona\ plana} = 2 * 1.33 + 22.52 = 25.18 \text{ sg}$

- P2

- Eje x: $2 * t_{rampa} + t_{zona\ plana} = 2 * 4.67 + 13.08 = 22.41 \text{ sg}$

- Eje y: $2 * t_{rampa} + t_{zona\ plana} = 2 * 1.33 + 5.82 = 8.49 \text{ sg}$

Como el transelevador realiza el desplazamiento en el eje x al mismo tiempo que en el eje y, para cada uno de los puntos se tendrá en cuenta el tiempo de desplazamiento más largo de los dos ejes.

En el caso del punto P1 se tomará el tiempo de desplazamiento en el eje y; mientras que en el punto P2 se tomará el tiempo de desplazamiento en el eje x.

Teniendo en cuenta que el movimiento hasta cada uno de los puntos se realiza desde el punto de recogida hasta la estantería y vuelta, habrá que multiplicar estos tiempos por 2:

$$\text{Tiempo total al punto P1: } t_{eje y} * 2 = 25.18 * 2 = 50.37 \text{ sg}$$

$$\text{Tiempo total al punto P2: } t_{eje x} * 2 = 22.41 * 2 = 44.82 \text{ sg}$$

Así se obtiene un tiempo total del ciclo simple del transelevador de:

$$t_{Total} = t_{P1} + t_{P2} = 50.37 + 44.82 = 95.19 \text{ sg}$$

		tiempo total medio ciclo (sg)	
P1	x	9,99	
	y	25,18	50,37
P2	x	22,41	44,82
	y	8,49	
		tiempo total ciclo (sg)	95,19

Tabla 14. Tiempo transelevador ciclo simple para P1 y P2

5.3.3.2.3. Tiempos de ciclo combinado del transelevador

Con los puntos P1: (12.42, 15.90) y P2: (41.40, 4.77) y los datos de velocidades y aceleraciones de la Tabla 9, se obtienen los tiempos:

- Rampa

- Eje x

Tiempo en alcanzar velocidad máxima

$$\frac{v}{a} = \frac{2.333}{0.5} = 4.67 \text{ sg}$$

Metros recorridos

$$\frac{a * t^2}{2} = \frac{0.5 * 4.67^2}{2} = 5.44 \text{ m}$$

- Eje y

Tiempo en alcanzar velocidad máxima

$$\frac{v}{a} = \frac{0.667}{0.5} = 1.33 \text{ sg}$$

Metros recorridos

$$\frac{a * t^2}{2} = \frac{0.5 * 1.33^2}{2} = 0.44 \text{ m}$$

- Zona plana E - P1

- Eje x

Metros recorridos

$$12.42 - 2 * m_{rampa} = 12.42 - 2 * 5.44 = 1.53 \text{ m}$$

Tiempo en recorrer zona plana

$$\frac{m}{v} = \frac{1.53}{2.333} = 0.66 \text{ sg}$$

- Eje y

Metros recorridos

$$15.9 - 2 * m_{rampa} = 15.9 - 2 * 0.44 = 15.01 \text{ m}$$

Tiempo en recorrer zona plana

$$\frac{m}{v} = \frac{15.01}{0.667} = 22.52 \text{ sg}$$

- Zona plana P1 – P2

- Eje x

Metros recorridos

$$41.40 - 12.42 - 2 * m_{rampa} = 41.40 - 12.42 - 2 * 5.44 = 18.09 \text{ m}$$

Tiempo en recorrer zona plana

$$\frac{m}{v} = \frac{18.09}{2.333} = 7.75 \text{ sg}$$

- Eje y

Metros recorridos

$$15.09 - 4.77 - 2 * m_{rampa} = 15.09 - 4.77 - 2 * 0.44 = 10.24 \text{ m}$$

Tiempo en recorrer zona plana

$$\frac{m}{v} = \frac{10.24}{0.667} = 15.36 \text{ sg}$$

- Zona plana P2 – A

- Eje x

Metros recorridos

$$41.40 - 2 * m_{rampa} = 41.40 - 2 * 5.44 = 30.51 \text{ m}$$

Tiempo en recorrer zona plana

$$\frac{m}{v} = \frac{30.51}{2.333} = 13.08 \text{ sg}$$

- Eje y

Metros recorridos

$$4.77 - 2 * m_{rampa} = 4.77 - 2 * 0.44 = 3.88 \text{ m}$$

Tiempo en recorrer zona plana

$$\frac{m}{v} = \frac{3.88}{0.667} = 5.82 \text{ sg}$$

		tiempo (sg) en alcanzar la velocidad max	m recorridos
Rampa	x	4,67	5,44
	y	1,33	0,44

		tiempo (sg) en recorrer la zona plana	m recorridos
Zona plana E-P1	x	0,66	1,53
	y	22,52	15,01
Zona plana P1-P2	x	7,75	18,09
	y	15,36	10,24
Zona plana P2-A	x	13,08	30,51
	y	5,82	3,88

Tabla 15. Tiempos transelevador rampa y movimiento lineal

Con estos datos obtenidos se podrá calcular el tiempo total para cada uno de los tres movimientos.

- E - P1
 - Eje x: $2 * t_{rampa} + t_{zona\ plana} = 2 * 4.67 + 0.66 = 9.99\ sg$
 - Eje y: $2 * t_{rampa} + t_{zona\ plana} = 2 * 1.33 + 22.52 = 25.18\ sg$
- P1 - P2
 - Eje x: $2 * t_{rampa} + t_{zona\ plana} = 2 * 4.67 + 7.75 = 17.09\ sg$
 - Eje y: $2 * t_{rampa} + t_{zona\ plana} = 2 * 1.33 + 15.36 = 18.03\ sg$
- P2 - A
 - Eje x: $2 * t_{rampa} + t_{zona\ plana} = 2 * 4.67 + 13.08 = 22.41\ sg$
 - Eje y: $2 * t_{rampa} + t_{zona\ plana} = 2 * 1.33 + 5.82 = 8.49\ sg$

Al igual que en el caso del ciclo simple, para cada uno de los tres movimientos sólo se tendrá en cuenta el tiempo máximo entre los dos ejes.

De esa forma, para el movimiento entre los puntos E-P1 se tendrá en cuenta el tiempo de desplazamiento en el eje y. Para el movimiento entre los puntos P1-P2 se tendrá en cuenta el tiempo de desplazamiento en el eje y. Para el movimiento entre los puntos P2-A se tendrá en cuenta el tiempo de desplazamiento en el eje x.

En este caso, el transelevador realiza una vez cada uno de los tres movimientos, por lo que el tiempo total del ciclo combinado resulta:

$$t_{Total} = t_{y(E-P1)} + t_{y(P1-P2)} + t_{x(P2-A)} = 25.18 + 18.03 + 22.41 = 65.62 \text{ sg}$$

		tiempo total recorrido (sg)	
E-P1	x	9,99	
	y	25,18	25,18
P1-P2	x	17,09	
	y	18,03	18,03
P2-A	x	22,41	22,41
	y	8,49	
		tiempo total ciclo (sg)	65,62

Tabla 16. Tiempo transelevador ciclo combinado

5.3.3.2.4. Tiempo de ciclos completos

Para el cálculo de los ciclos completos y, según los esquemas de las Ilustraciones 18 y 19, a los tiempos calculados de los movimientos de los transelevadores, habrá que sumarles el tiempo del movimiento de las horquillas.

Esto es, en cada caso, habrá que sumar el tiempo correspondiente a dos movimientos con la horquilla cargada y dos con la horquilla descargada.

Según la FEM 9851, el tiempo total del ciclo simple es:

$$t = \frac{1}{2} t_{ciclo\ simple} + t_{horquillas} = \frac{95,19}{2} + 2 * (3,407 + 2,434) = 59,277 \text{ sg}$$

El tiempo total del ciclo combinado es:

$$t = t_{ciclo\ combinado} + t_{horquillas} = 65,62 + 2 * (3,407 + 2,434) = 77,302 \text{ sg}$$

5.3.3.3. Número de transelevadores

En el caso que nos ocupa, debido al alto volumen de picking, la mayoría de los ciclos a realizar serán de tipo combinado, por lo que utilizaremos este valor para el cálculo.

$$77,302 \text{ sg/ciclo} = 46,57 \text{ ciclos/hora}$$

Necesitamos realizar 147 palés/hora

$$\text{Así, hacen falta } 147 / 46,57 = 3,17 = 4 \text{ transelevadores}$$

Se podría estudiar la posibilidad de colocar sólo estos 4 elementos y si el almacén consta de 5 pasillos, que un transelevador atendiera a dos pasillos. Si fueran 6 pasillos de almacén, que dos transelevadores atendieran cada uno a dos pasillos.

Connotaciones:

- Hay que considerar un nuevo ciclo de movimientos en el que se incluyera de cambio de pasillo de un transelevador.
- El tiempo de cambio de pasillo de un transelevador es superior a los 180 sg (datos fabricante). Muy elevado para los tiempos calculados = ineficiencia.
- Se hace necesario segregar en mayor detalle los productos de baja rotación para ser ubicados en estos pasillos al objeto de evitar cuellos de botella.
- El SGA (Sistema de Gestión de Almacén) debe controlar esta posibilidad.
- Pérdida de flexibilidad en cuanto a modificaciones futuras de la gama de productos a gestionar.
- Caso de avería de uno de estos equipos, se incrementa la probabilidad de rotura de servicio, bien por infra capacidad de extracción o de acceso productos.

Conclusión: Se aconseja instalar un transelevador por pasillo al objeto de cubrir holgadamente la situación planteada y posibles modificaciones futuras que se resuelvan con agilidad.

Solución final: 6 transelevadores. Uno por pasillo.

5.3.3.4. Número de puestos preparación pedidos

Es necesario dimensionar el número de puestos donde se recogerán los bultos para la preparación de pedidos.

Se trata de que los palés lleguen al puesto de preparación de pedidos donde el operario recogerá los bultos indicados para depositarlos sobre el/los palé/palés de pedido inicialmente vacíos.

Cabe la posibilidad de automatizar en mayor grado el sistema, colocando un robot que haga el trabajo en lugar del operario, pero requiere estudiar temas como los mosaicos de los palés almacenados, visión artificial, criterios de paléizado y otros aspectos que no se abarcan en este trabajo.

5.3.3.4.1. Posibles opciones

Existen dos posibles soluciones:

1. Puestos en "U"

En la imagen a continuación se muestra un ejemplo de este tipo de puesto de picking.



Ilustración 20. Puesto picking en "U". Fuente: Mecalux

Los palés llegan al puesto por la pista de rodillos principal y entran en la mesa en "U" donde espera el operario. De esta forma los palés salen y entran al circuito principal de manera rápida y fácil.

El operario cuenta con espacio suficiente y libertad de movimientos para la recogida de los bultos del palé suministrado por el sistema y su colocación sobre los palés de pedidos a preparar (entre 4 y 5 al mismo tiempo).

Esta configuración permite que, además del palé que está siendo manipulado por el operario, haya uno o dos palés más en espera tanto para llegar al puesto de picking como para volver al circuito principal.

Este sistema resulta muy adecuado para procesos de picking en los que se recogen pocos bultos de cada palé y se necesita una rotación elevada de palés en el puesto de recogida.

Por último, este sistema permite ampliar la profundidad, lo que, en caso de ser necesario, aumentaría el número de palés en espera.

2. Puestos con pistas de E/S de palés.

En la imagen a continuación se muestra un ejemplo de este tipo de puesto de picking.



Ilustración 21. Puesto picking E/S. Fuente: Mecalux

Los palés llegan al operario desde la pista principal de rodillos hasta colocarse de forma individual y paralela en tres pistas de rodillos más cortas, que los acercan al puesto del operario.

Al igual que en el caso anterior, el operario cuenta con espacio suficiente y libertad de movimientos para la colocación de los bultos en los palés que está elaborando (entre 4 o 5 al mismo tiempo).

El sistema solo permite tener en espera un palé por cada pista de rodillos, y el retorno de los palés al circuito principal puede producir esperas y retrasos si éste está muy saturado.

Si el número de bultos a extraer de cada palé es bajo, puede producir tiempos de paro por falta de abastecimiento de palés desde el circuito principal al puesto de recogida.

Este tipo de configuración es más adecuado para sistemas de picking en los que se retiran un alto número de bultos del mismo palé.

5.3.3.4.2. Solución adoptada

Dadas las características del trabajo de almacén de la empresa, de su alta rotación de palés y relativos pocos bultos por línea, se opta por elegir el puesto en "U", ya que permite un proceso más ágil.

Según información del fabricante, este tipo de puesto en "U", condicionado siempre a la eficiencia del operario y a las características de las líneas de pedido, permite alcanzar una rotación de entre 50 y 60 palés/hora.

Como en apartados anteriores hemos calculado que la necesidad es de 147 palés/hora, se obtiene:

- $147 / 50 = 2.94$ puestos
- $147 / 60 = 2.45$ puestos

Por lo tanto, serían necesarios 3 puestos de picking.

5.3.3.4.3. Dimensionado

Cada puesto de picking tendrá opción de preparar hasta 5 palés.

Con un espacio de 1.4 m por palé más 0.5 m a cada lado, tendremos una anchura del puesto de preparación de pedidos de 8 m.

En el otro sentido: $1.2 \times 2 = 2.4$ m + 0.4 m de separación entre las pistas = 2.8 m de pistas de rodillos motorizados (ver ilustración 20) + 3.5 m aproximadamente para el operario y los palés de preparación de pedidos. Total = 6.3 m.

Dimensión final de cada puesto = 8 x 6.3 m.

Dado que algunos de los bultos a mover (envases de 15-20 L) con pesos de hasta 25 kg puede resultar fatigoso para el operario, sería

conveniente incluir en cada puesto un manipulador ingrávito que espacialmente tiene cabida dentro del puesto de trabajo.



Ilustración 22. Manipulador ingrávito. Fuente: Schmalz

Ver plano 03 en el anexo.

5.3.3.5. Pistas de transporte de palés.

Como último elemento a dimensionar, queda la pista de transporte de los palés hacia sus diferentes destinos: recepción desde fábrica, traslado al almacén, extracción hasta los puestos de picking, hacia la salida de palés completos...

5.3.3.5.1. Dimensionado

Este sistema deberá de satisfacer:

- Entrada de palés de fábrica con control de calidad del palé y su posible rechazo (salida por pista paralela).
- Salida de palés completos para servir a cliente.
- Traslado de los palés hacia su almacenaje y su extracción y retorno a/desde los puestos de picking.

El diseño pensado para satisfacer estos requerimientos será un circuito cerrado en forma de "L": el lado corto frente a la Entrada/Salida de los palés que manipulan los transelevadores y el lado largo en el lateral del almacén, entre éste y los puestos de preparación de pedidos.

El circuito tendrá dos ángulos de 180° y dos ángulos de 90°

Las medidas necesarias:

- Lado corto: 27,15 m y 30,15 m.
- Lado largo: 47,18 m y 50,168 m.
- Curvas: 14,137 m. Teniendo en cuenta que el radio de todas las curvas es de 1500 mm.

Longitud estimada total del recorrido será de 168,785 m.

Sobre este circuito se acoplarán varias líneas de entrada y salidas de palés hacia y desde el circuito:

- Entrada de palés hacia el almacén desde fábrica, con la posibilidad de ser rechazado.
- Salida de palés completos desde el almacén.
- La recogida desde el circuito o la entrega al circuito de los palés, por parte de los transelevadores.
- 3 pistas de salida y entrada de los palés hacia cada uno de los 3 puestos de preparación de pedidos.

5.3.3.5.2. Elección del modelo

Los tres sistemas más adecuados para esta función son:

- a) Transporte de cadenas: se emplea para recorridos cortos. Para nuestro caso sería el menos adecuado.



Ilustración 23. Transporte de cadenas para palés

- b) Rodillos motorizados sobre los que apoya el palé: Dado que la longitud del circuito es superior a 150 m se descarta por coste.



Ilustración 24. Pistas de rodillos motorizados

c) Carros de transporte sobre raíles.



Ilustración 25. Carro de transferencia

La velocidad de uno de estos carros está en torno a 50 m/min (datos fabricante).

Dada la longitud del circuito de transporte y el número de palés a sacar por hora, esta es la opción más adecuada.

Exige tener una estación para mantenimiento de los carros en paralelo con el circuito.

Número de carros necesario:

$$\frac{\text{Distancia total}}{\text{Velocidad carro}} = \frac{168.785 \text{ m}}{50 \text{ m/min}} = 3.37 \text{ min/ciclo}$$

$$\frac{60 \text{ min}}{3.37 \text{ min/ciclo}} = 17.8 \text{ ciclos/hora}$$

Como se necesitan 147 palés/hora:

$$\frac{\text{palets/hora}}{\text{ciclos/hora}} = \frac{147}{17.8} = 8.258 \text{ carros}$$

Como dotar a la instalación de 8 carros de transferencia resulta demasiado ajustado (averías, mantenimiento de alguno de los carros...) se colocarán al menos 9 carros.

(Sienz, s.f.)

Para las líneas de Entrada y Salida de palés hacia el circuito de transporte, se colocarán los elementos de la opción b) anterior: Pistas de rodillos motorizados. Permiten la espera, entrada, salida de palés en función del tráfico en el circuito. Todo ello será gestionado por el SGA.

Ver plano 04 en el anexo para la planta completa del almacén.

5.4. PRESUPUESTO

Tras consultar con varios fabricantes el precio de los diferentes elementos que formarán la instalación, se ha obtenido el importe total dividido en 4 grandes grupos:

1. Edificio

	Precio (€/m ²)	m ²
Edificio	500	3000

Tabla 17. Precio edificio

2. Transelevadores (unidad).

3. Estanterías (por pasillo dimensionado)

4. Sistema automático:

- a. SGA (Software de Gestión de Almacén)
- b. Circuito de transporte
- c. Carros + estación de mantenimiento
- d. Puestos de picking
- e. E/S de palés y zona de rechazo

Elemento	Precio (Millones €)	
Transelevadores	0,35	unidad
Estanterías	0,191	pasillo
Sistema automático	1,2	total

Tabla 18. Precio elementos instalación

Con estos datos, el presupuesto para la opción planteada con 6 pasillos es de:

$$\text{Edificio} = 500 \text{ €/m}^2 * 3000\text{m}^2 = 1.500.000 \text{ €}$$

$$\text{Transelevadores} = 6 \text{ unidades} * 350.000 \text{ €/ud} = 2.100.000 \text{ €}$$

$$\text{Estanterías} = 6 \text{ pasillos} * 191.000 \text{ €/pasillo} = 1.146.000 \text{ €}$$

$$\text{Sistema automático} = 1.200.000 \text{ €}$$

$$\text{TOTAL} = 1.500.000 + 2.100.000 + 1.146.000 + 1.200.000 = 5.946.000 \text{ €}$$

Pasillos	6
Elemento	Precio (Millones €)
Edificio	1,5
Transelevadores	2,1
Estanterías	1,146
Sistema automático	1,2
TOTAL	5,946

Tabla 19. Presupuesto 6 pasillos

5.5. ANÁLISIS ECONÓMICO

Debido a que la empresa necesita realizar la ampliación del almacén, se realizará en el análisis económico comparando el coste, tanto de la inversión inicial necesaria como del coste operativo, entre un nuevo almacén manual y el almacén automático que se ha planteado.

Se establece la inversión a largo plazo, con un horizonte de 15 años en los que se han considerado varios escenarios en función del previsible crecimiento de la actividad: incrementos de 20%, 40%, 60%, 80% y 100% respecto la situación presente.

Se plantea el estudio mediante el cálculo del coste que supondrá la gestión del almacén y preparación de pedidos para cada año y para cada una de las dos opciones (manual y automático) y esto, en cada uno de los 5 escenarios propuestos.

Los costes serán actualizados al año 0 mediante el método del VAN.

Con los datos obtenidos se definirá la conveniencia del tipo de inversión para cada situación futura previsible.

Todos los cálculos se realizarán en un libro Excel que se adjunta en el anexo.

5.5.1. Costes

Desglosaremos los costes en los siguientes capítulos:

- 1) Inversión inicial del edificio
- 2) Inversión inicial de equipamiento Almacén manual
- 3) Inversión inicial de equipamiento Almacén automático
- 4) Coste operativo del personal
- 5) Coste de Mantenimiento
- 6) Otros conceptos

5.5.1.1. Edificio

El automático: 23,85 m de altura y visto en epígrafes anteriores, su superficie es de:

$$76.57 * 38.22 \approx 3000 \text{ m}^2$$

Su mayor altura tiene un mayor coste por m² construido, que una vez consultado se estima en torno a 500 €/m².

Así, el importe de la nave sería:

$$3.000 * 500 \approx 1.500.000 \text{ €}$$

Manual: la altura máxima posible es de 9 m, ya que se encuentra limitada por las carretillas. Debido a esto, su superficie será mayor que la del automático.

Por otra parte, necesita que el espacio de los pasillos entre las estanterías sea más ancho (del orden de 4,5 – 5 m.) para el tránsito de carretillas, lo que supone del orden de un 30-40% más de superficie.

$$\frac{23.85}{9} * 1.4 = 3.71 \text{ veces mayor} \approx 10.000 \text{ a } 11.000 \text{ m}^2$$

El coste consultado de la nave de estas características para el almacén de 9 m. está en torno a 325 €/m² construido.

Así, el importe de la nave sería:

$$10.000 * 325 \approx 3.250.000 \text{ €}$$

5.5.1.2. Equipamiento almacén Manual

En el almacén manual será necesario instalar las estanterías y disponer de carretillas.

Esteras: Consultando con fabricantes, se ha obtenido un precio para las estanterías de 9 m de altura de 175.000 € / 3 pasillos.

Tomando que serían necesarios 6 x 3 pasillos, se obtiene una inversión inicial de estanterías de:

$$175.000 * 6 = 1.050.000 \text{ €}$$

Carretillas: El número de carretillas necesarias dependerá del aumento del nivel de actividad que se llevará a cabo en la empresa.

Para el nivel de actividad actual de la empresa, son necesarias 7 carretillas. Cada una tiene un coste de 26.000 €. Su número aumentará proporcionalmente con el volumen de actividad.

$$26.000 * 7 = 182.000 \text{ €}$$

La inversión inicial para el almacén manual será de:

$$\text{Actividad actual} : 1050 + 182 = 1.232.000 \text{ €}$$

5.5.1.3. Equipamiento almacén Automático

En el almacén automático será necesario instalar: estanterías, transelevadores, pistas de transporte y carros de transferencia, mesas de rodillos y puestos de picking.

Esteras: Consultando con fabricantes, se ha obtenido un precio para las estanterías de 24 m de altura de 191.000 € / pasillo para el diseño que hemos definido.

Como el diseño necesita 6 pasillos, el importe de estanterías es:

$$191.000 * 6 = 1.146.000 \text{ €}$$

Carretillas: En este caso, el número de carretillas necesarias no varía apenas con el aumento de actividad del almacén, con lo que será suficiente con sólo 3 carretillas.

La inversión inicial de las carretillas es de:

$$26.000 * 3 = 78.000 \text{ €}$$

Transelevadores: Son el apartado más elevado de la instalación después del edificio. Según hemos calculado anteriormente, son necesarios 6 unidades, uno por pasillo, y su número es independiente del nivel de actividad.

$$350.000 * 6 = 2.100.000 \text{ €}$$

Resto de elementos: Como es necesario contratar un SGA (Sistema de Gestión de Almacén), los posibles fabricantes incluyen en un solo paquete el software, las pistas de transporte, las mesas de rodillos y los carros de transferencia y todo el sistema de control.

Su coste es independiente del volumen de actividad y asciende a un importe de 1.200.000 €

Así, la inversión inicial del almacén automático sería de:

$$1.146 + 0.078 + 1.2 + 2.1 = 4.524.000 \text{ €}$$

5.5.1.4. Coste Operativo del Personal

El personal de almacén desempeña principalmente 4 funciones:

1) Entrada de producto.

En el almacén manual la entrada de producto la realiza un operario con una carretilla elevadora que traslada el palé de entrada desde el punto de recepción en el almacén hasta la ubicación en el hueco de la estantería de destino.

Este proceso consume entre un 10-15% de las horas de trabajo del personal de almacén.

El coste salarial de un operario con formación de carretillero asciende a 28.000 €/año.

En el almacén automático esta fase es realizada por el propio almacén: se recepciona desde fábrica y es ubicado en la estantería sin intervención del personal.

2) Preparación de pedidos.

El proceso de preparación de pedidos se puede dividir en dos partes: el **picking** y el **cerrado del palé**.

El **picking** es la función principal del almacén, ya que consume entre el 70-75% del tiempo total.

En el caso del almacén manual, este proceso lo realiza el operario con la carretilla, que se desplaza por el almacén movilizandolos palés necesarios para la recogida de los productos requeridos en el pedido y su colocación sobre el palé del pedido.

Los operarios que intervienen en este proceso tienen formación como carretilleros y su coste salarial asciende a 28.000 € anuales.

En el almacén automático, los palés son transportados hasta el puesto de preparación de pedidos donde espera el operario para que extraiga los productos del palé suministrado y los coloque sobre el palé del pedido.

El personal de este puesto no requiere la formación del anterior y su coste salarial asciende a 24.000 €/año.

El **cerrado de palés** (consume entre un 5-10% del tiempo total), lo realiza un operario de carretilla elevadora que traslada el palé del pedido terminado desde el punto de preparación hasta la zona de cerrado (film transparente) y etiquetado.

3) Expedición

El proceso consiste en la carga de los palés sobre camión o contenedor. Requiere un 5% del tiempo total del personal del almacén y será realizado por un operario con carretilla.

4) Gestión administrativa

El proceso de gestión del pedido: Generación de las ordenes de preparación de los pedidos, Albaranes de expedición, Cartas de porte, Contacto con transportistas, ... es realizada por personal de perfil administrativo con un coste de 32.000 €/año por operario.

Para el actual nivel de actividad, la disponibilidad de personal en el almacén manual es:

- 2 Administrativos
- 1 Operario entrada de producto
- 11 Operarios de preparación de pedidos
- 1 Operario de cierre de palé

- 1 Operario de expedición y carga

En el almacén automático, con el mismo nivel de actividad, sería:

- 2 Administrativos
- 3 Operarios de preparación de pedidos
- 1 Operario de cierre de palé
- 1 Operario de expedición y carga

Los costes de cada clase tipo de operario:

- Administrativo: 32.000 €
- Operario: 24.000 €
- Operario de carretilla: 28.000€

Estos valores, a lo largo del cálculo, serán incrementados en un 2% anualmente por el efecto de la inflación.

5.5.1.5. Mantenimiento

La instalación requiere invertir recursos en el mantenimiento de la misma para mantener su capacidad operativa.

Esta inversión abarca las estanterías, las carretillas elevadoras y los equipos automáticos (transelevadores, carros de transporte y pistas de rodillos)

Estanterías: En el caso del almacén manual el mantenimiento anual de las estanterías es de 30.000 € (histórico de la empresa), causado principalmente por golpes con las carretillas. Este valor aumentará según aumente el porcentaje de actividad en el almacén.

En el caso del automático, prácticamente es nulo y está incluido dentro de un contrato de mantenimiento con empresa externa que incluye casi todos los elementos automáticos.

Carretillas: El mantenimiento de las carretillas supone unos 1.800 € / año y carretilla (histórico de la empresa), causado por revisiones periódicas, al cambio de ruedas, averías...

Por otro lado, la batería de una carretilla tiene una vida útil en torno a 5 años, por lo que transcurrido este tiempo, será necesario sustituirlas.

El importe de una batería nueva es de 3.500 €, y se incrementará por el efecto la inflación que estimamos en un 2%:

$$3.500 * 7 * 1.02^4 = 26.519,58 \text{ €}$$

$$3.500 * 14 * 1.02^4 = 53.039,17 \text{ €}$$

Igualmente, la vida útil de la carretilla se estima en 10 años, período tras el cual será necesario sustituirla, estimando un valor residual de las mismas de un 15% del de adquisición.

El coste de las carretillas nuevas descontando el residual será de:

$$(26.000 * 7 * 1.02^9) * 0.85 = 184.880,82 \text{ €}$$

$$(26.000 * 14 * 1.02^9) * 0.85 = 369.761,64 \text{ €}$$

Equipos automáticos: El mantenimiento es contratado con empresa externa y supone anualmente 25.000 €, abarcando los transelevadores, carros de translación, pista de rodillos, estanterías y el SGA.

Los dos primeros años (período de garantía) no existe este coste de mantenimiento por estar incluido en la compra.

5.5.1.6. Otros conceptos

De los costes no considerados en el cálculo quizá el de mayor importancia sea el del consumo energético.

En el caso del almacén manual, el consumo energético principal será el eléctrico por la iluminación del almacén y la carga de las baterías de las carretillas.

En el almacén automático (no necesita iluminación) el consumo energético principal también será el eléctrico, debido a los equipos automáticos: transelevadores, motores de los carros de transferencia y de las pistas de rodillos.

Dado que el consumo eléctrico en ambos casos va a resultar parecido, no se tendrá en cuenta a lo largo del análisis económico.

5.5.2. Cálculos

Los cálculos realizados se recogen en un libro Excel que se incluye en el anexo. Consta dicho libro de 8 hojas cuyo contenido describimos a continuación.

5.5.2.1. Descripción del libro Excel

1) Hoja "Datos"

Contiene los datos con los que se trabajará en el resto de las hojas.

Columnas "D" y "E", los imputables al almacén manual y columnas "F" y "G" los del automático.

Filas 4 a 10 y 13 y 14: Recogen los importes de la inversión en cuanto a inmovilizado (construcción del edificio, pasillos de estanterías, transelevadores, SGA y automatización) y maquinaria (carretillas elevadoras) que son necesarios.

Fila 23: También es coste de inversión, el de las baterías nuevas para las carretillas.

Filas 16 a 18: Costes operativos de mantenimiento.

Filas 19 a 21: Costes salariales por operario y grupo profesional.

Filas 25 a 33: Cuantificación del número de operarios y de carretillas para el actual nivel de actividad.

Por último, en el rango M13-N23 se incluye una tabla con el porcentaje de inflación previsible anual para cada uno de los elementos de la instalación.

2) Hojas Activ 20% a Activ 100%:

Se plantean 5 escenarios diferentes (una Hoja para cada uno) con incrementos de actividad de 20%, 40%, 60%, 80% y 100% respecto de la actividad actual.

Cada hoja contiene los cálculos de costes anuales hasta 15 años tanto para el almacén automático como para el manual.

En las filas 20 (almacén manual) y 41 (almacén automático) se calcula el coste imputable al año correspondiente del servicio de los pedidos.

En las filas 46 y 47 se calcula dicho coste actualizado al año 0 mediante el método del VAN (Valor Actual Neto) y sumando la inversión del año 0 en cada caso (manual y automático).

3) Hoja "Tiempos igualación coste"

Es un resumen de los datos de las 5 hojas anteriores, donde hay que destacar la fila 30 que indica en cada escenario, el tiempo en años para que se igualen los costes del servicio de los pedidos.

4) Hoja Grafico decisión

Con los datos de la hoja anterior se genera el gráfico que indica en función del incremento de actividad y de los años transcurridos, la viabilidad de invertir en un almacén automático frente al manual, de manera simple e intuitiva.

5.5.2.2. Método de Cálculo

A partir de los datos de la primera hoja, en cada una de las 5 posteriores se calcula para cada año el importe que supone el servicio de los pedidos, incluyendo:

- Recepción en el almacén
- Preparación de los pedidos
- Expedición y carga

En este cálculo está considerado el previsible incremento del coste debido a la inflación, afectando a cada concepto de manera independiente.

Se recoge en las filas 20 y 41 respectivamente.

Este valor es actualizado al año 0 mediante el método del VAN (Valor Actual Neto) en cada año y se le añade el valor de la inversión en el año 0, teniendo el coste actualizado al año cero del servicio de los pedidos.

Se recoge en las filas 46 y 47 respectivamente.

A continuación, se calculan las líneas de tendencia para cada una de las series de valores y se representan en un gráfico.

En el cruce de las líneas de tendencia, se tiene el punto en el que se igualan los costes (tiempo en años). A partir de este punto el coste del almacén manual supera al del automático.

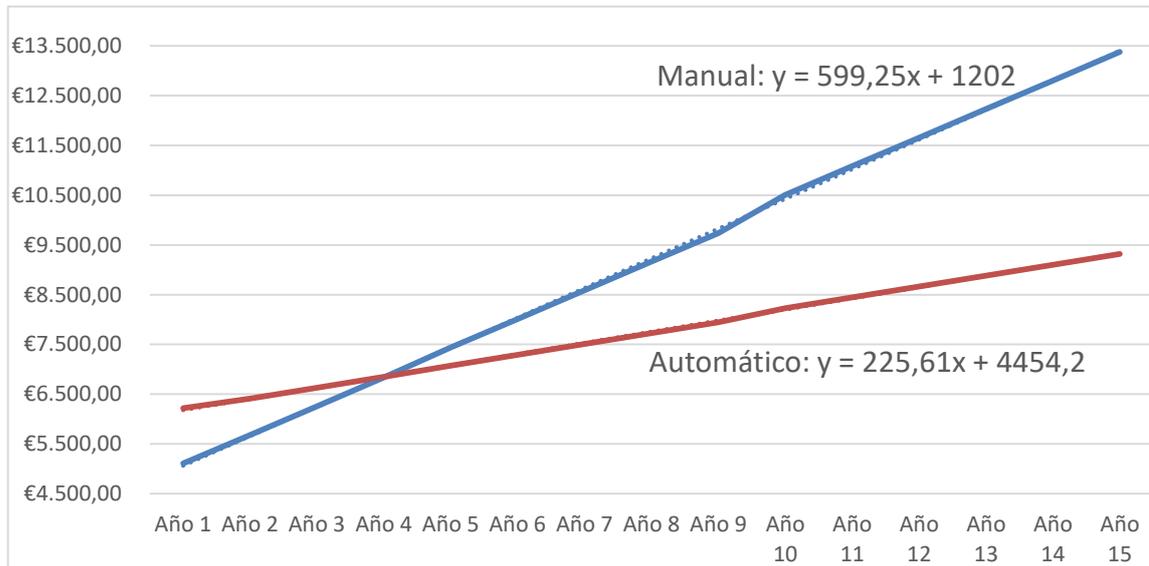


Ilustración 26. Gráfico comparación 20% aumento actividad

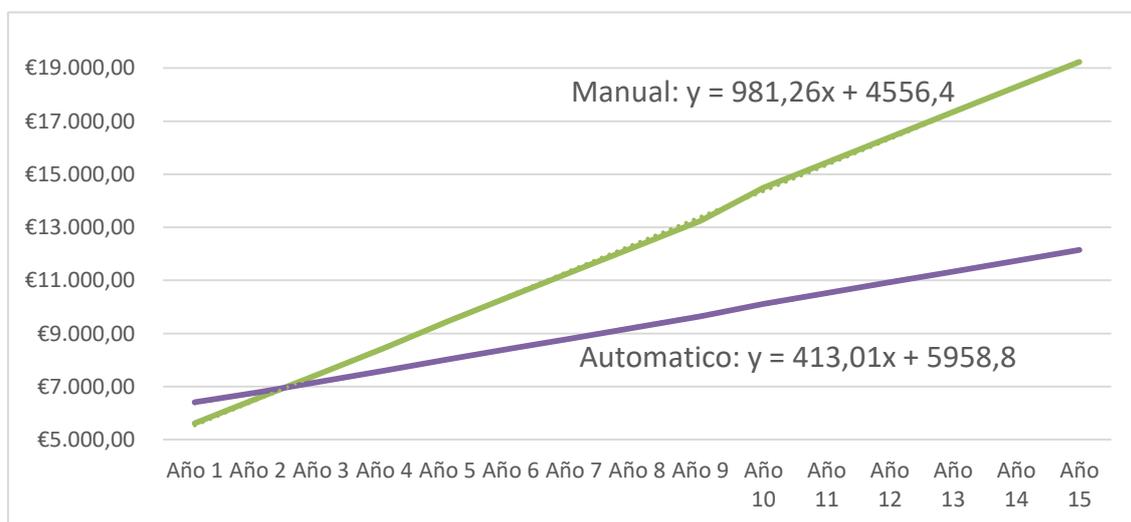


Ilustración 27. Gráfico comparación 100% aumento actividad

Con estos puntos de igualación de costes de cada una de las 5 hojas (escenarios), construimos el gráfico final donde se representa de forma atractiva y fácil de ver la conveniencia de invertir en un almacén manual o automático en función del previsible incremento de actividad y los años de igualación de costes.

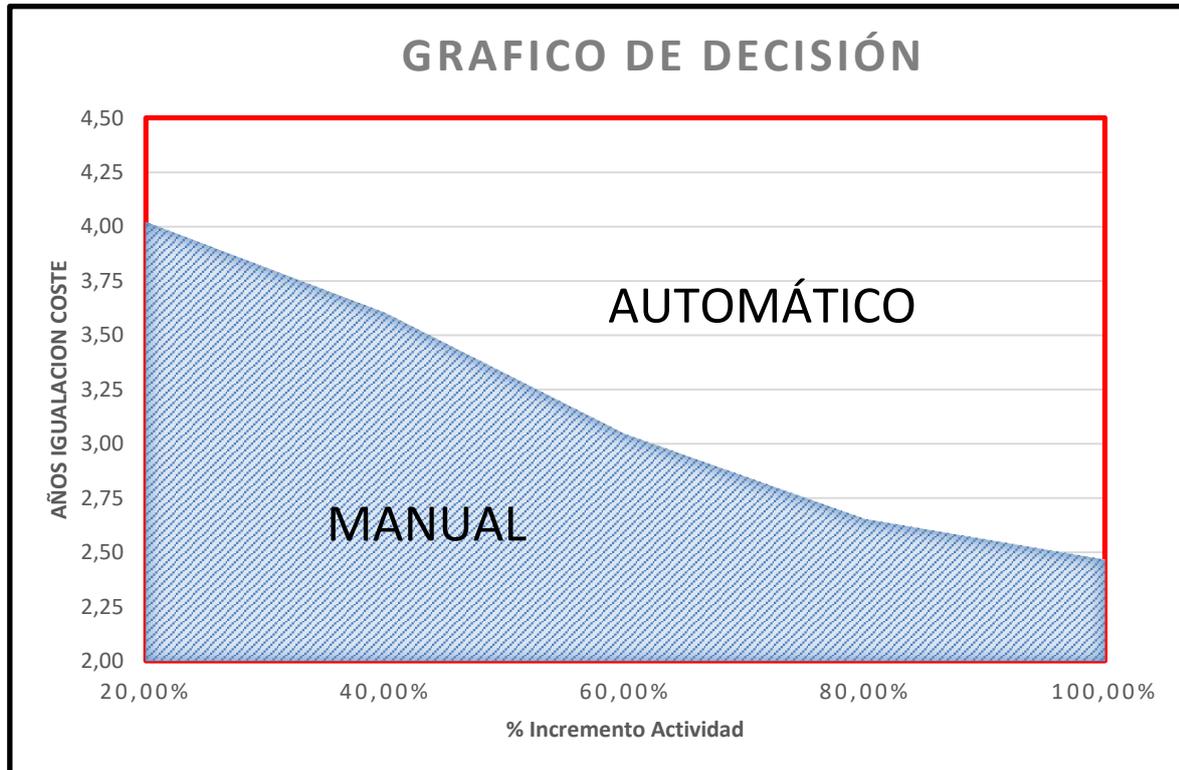


Ilustración 28. Gráfica de decisión

5.5.2.3. Resultado del análisis económico

El gráfico refleja que el coste de almacenamiento, preparación y expedición de los pedidos de la empresa, resulta menor invirtiendo en un almacén automático que en uno manual en la mayoría de los escenarios.

Por ejemplo: para un crecimiento de actividad del 20%, a partir del cuarto año es más rentable el automático. Para un crecimiento del 60%, a partir del tercer año, y así sucesivamente.

6. RESULTADOS

Se tienen dos resultados del trabajo:

1) Diseño del almacén automático.

A partir de los datos proporcionados por la empresa al inicio del proyecto y tras toda la fase de diseño, se ha llegado a dimensionar de manera óptima el almacén:

Nave de almacenamiento de 75 x 26 m. con 6 pasillos, y un transelevador por pasillo.

Zona de picking con 3 puestos de preparación de pedidos de 48 x 15 m.,

Ambas zonas conectadas por una línea de transporte automática con 9 carros de transferencia y su zona de mantenimiento.

Líneas de rodillos de E/S palés.

2) Análisis económico de la inversión.

Se ha cuantificado el coste de la inversión y el operativo del servicio de los pedidos a lo largo de los años en 5 diferentes escenarios de incremento de actividad.

Este coste se ha calculado, tanto para el almacén automático diseñado, como para realizar el mismo trabajo e inversión en un almacén manual.

Comparando estos costes se ha construido un gráfico de decisión en el que se aprecia que la ventaja económica de un almacén automático frente al manual está entre los 2,5 y 4 años dependiendo del nivel de actividad.

Hay otros aspectos no considerados que inclinan la balanza de la inversión hacia el almacén automático:

- Ahorro de espacio: El almacenamiento en altura permite ocupar menor espacio industrial que puede ser dedicado a otros menesteres.
- Imagen corporativa: Resulta mucho más atractiva una empresa con instalaciones y procesos automáticos de última tecnología que la anclada en sistemas clásicos.
- La menor dependencia de mano de obra permite mayor flexibilidad en adaptarse a demandas cambiantes.

7. CONCLUSIONES

Los dos objetivos iniciales se han cumplido con exactitud y holgura:

- 1) A partir de los datos iniciales, se ha diseñado el almacén automático más adecuado y se ha presupuestado la inversión.
- 2) Se ha comparado el coste proporcionado por la solución propuesta con su equivalente en almacén manual, llegando a una gráfica de decisión simple e intuitiva pero muy práctica, en función del incremento de actividad y los años de vida estimados de la inversión.

Como conclusión: En el caso planteado, la inversión en el sistema automático diseñado mejora los resultados frente a la inversión en un sistema manual en plazos breves (de 2,5 a 4 años) para el volumen de inversión planteada.

Trabajos futuros:

Como sugerencia de futuro, un posible aspecto a considerar en la línea de incrementar la automatización del proceso, sería sustituir en los puestos de preparación de pedidos los operarios por robots paléizadores.

Sería necesario incluir sistemas como visión artificial y definición de mosaicos estándares para el paléizado.

8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

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

- Objetivo 4 - Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos



- Meta 4.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el número de jóvenes y adultos que tienen las competencias necesarias, en particular técnicas y profesionales, para acceder al empleo, el trabajo decente y el emprendimiento

- Objetivo 8 - Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos



- Meta 8.2 Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra

9. BIBLIOGRAFÍA

- Atox. (s.f.). <http://www.atoxgrupo.com>. Obtenido de <http://www.atoxgrupo.com/website/estanterias-metalicas/clasificacion/por-tipo-de-almacen/almacen-convencional>
- Caurin, J. (s.f.). <https://www.emprendepyme.net/almacenamiento#:~:text=%C2%BFEn%20qu%C3%A9%20consiste%20el%20almacenamiento,que%20m%C3%A1s%20tard%C3%A9%20ser%20vendido>. Obtenido de <https://www.emprendepyme.net>
- Daifuku. (s.f.). <https://www.daifuku.com/es/solution/technology/automatedwarehouse/>.
- Esnova. (s.f.). <https://esnova.com>. Obtenido de <https://esnova.com/es/blog/almacenes-automatizados-usos-y-aplicaciones/>
- López, B. S. (s.f.). <https://www.ingenieriaindustrialonline.com>. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-almacenes/sistema-de-almacenamiento-convencional/>
- MBA, M. D. (s.f.). <https://zonalogistica.com/los-almacenes-automaticos/>.
- Mecalux. (s.f.). Almacenes automáticos para palés. Cómo elegir la solución más eficiente.
- Mecalux. (s.f.). <https://www.mecalux.es>.
- Mecalux. (s.f.). <https://www.mecalux.es>. Obtenido de <https://www.mecalux.es/blog/tipos-almacenes-automatizados>
- Mecalux. (s.f.). <https://www.mecalux.es>. Obtenido de <https://www.mecalux.es/blog/almacenes-automatizados-ejemplos>
- Mecalux. (s.f.). [https://www.mecalux.es/blog/almacen-automatico-convencional#:~:text=Los%20almacenes%20convencionales%20\(o%20tradicionales,los%20empleados%20de%20la%20empresa](https://www.mecalux.es/blog/almacen-automatico-convencional#:~:text=Los%20almacenes%20convencionales%20(o%20tradicionales,los%20empleados%20de%20la%20empresa). Obtenido de <https://www.mecalux.es>
- Mecalux. (s.f.). [https://www.mecalux.es/blog/almacen-automatico-convencional#:~:text=Los%20almacenes%20convencionales%20\(o%20tradicionales,los%20empleados%20de%20la%20empresa](https://www.mecalux.es/blog/almacen-automatico-convencional#:~:text=Los%20almacenes%20convencionales%20(o%20tradicionales,los%20empleados%20de%20la%20empresa). Obtenido de <https://www.mecalux.es>

- Ractem. (s.f.). <https://www.ractem.es>. Obtenido de <https://www.ractem.es/blog/almacenes-automatizados-que-son>
- Restrepo, D. L. (s.f.). <https://zonalogistica.com>. Obtenido de <https://zonalogistica.com/los-almacenes-automaticos/>
- Sienz. (s.f.). <https://sienz.com>. Obtenido de <https://sienz.com/wp-content/uploads/2018/02/Sienz-Carro-bin-palés-vacios-ESP.pdf>
- Systems, N. (s.f.). <https://www.noegasystems.com>. Obtenido de <https://www.noegasystems.com/blog/almacenaje/sistema-convencional-de-almacenaje>



Relación de documentos

(X) Memoria NN páginas

(_) Anexos NN páginas

La Almunia, a 19 de Junio de 2022

Firmado: Diana Velasco Ruiz