

# Manejo de materiales: fundamentos y aplicaciones logísticas

Francisco Javier Torres Barajas et al.





# **Manejo de materiales:**

Fundamentos y aplicaciones logísticas





# Manejo de materiales:

Fundamentos y aplicaciones logísticas

Francisco Javier Torres Barajas  
Alejandro Lozano González  
Luz Karina Hernández Garza  
Rafael Bravo González  
Gregorio Araujo Aceves  
Laura Estela Páez Rivas  
Manuel Gándara Rodríguez  
Roberto Huerta Orozco  
Roberto Montes González  
Joahna Marisol Estrada Becerra  
Carolina Ponce Macias  
Horacio Jesús Cisneros González



*Manejo de materiales: fundamentos y aplicaciones logísticas.* Francisco Javier Torres Barajas, Alejandro Lozano González, Luz Karina Hernández Garza, Rafael Bravo González, Gregorio Araujo Aceves, Laura Estela Páez Rivas, Manuel Gándara Rodríguez, Roberto Huerta Orozco, Roberto Montes González, Joahna Marisol Estrada Becerra, Carolina Ponce Macias y Horacio Jesús Cisneros González.

274 P. 23 cm.

*Primera edición*

D. R. © *copyright* 2026. Francisco Javier Torres Barajas, Alejandro Lozano González, Luz Karina Hernández Garza, Rafael Bravo González, Gregorio Araujo Aceves, Laura Estela Páez Rivas, Manuel Gándara Rodríguez, Roberto Huerta Orozco, Roberto Montes González, Joahna Marisol Estrada Becerra, Carolina Ponce Macias y Horacio Jesús Cisneros González.

ISBN: **979-13-88349-18-8**

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26004174>



La presente obra fue dictaminada bajo el sistema de doble ciego y cuenta con el aval de los dictámenes de pares académicos en el campo de las ciencias sociales en México.

Edición y corrección: **Astra ediciones**



Todos los contenidos de esta publicación, se comparten bajo la licencia Creative Commons Atribución/Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (**CC BY-NC-SA 4.0**), Esto implica que no está autorizado el uso comercial de la obra original ni de las eventuales obras derivadas, las cuales deberán distribuirse bajo la misma licencia que rige la obra original. No obstante, se permite a terceros compartir el contenido siempre y cuando se reconozca debidamente la autoría y la publicación original en esta editorial.

---

HECHO EN MÉXICO | MADE IN MEXICO

## **Contenido**

|                                                                                                                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Prefacio.....</b>                                                                                                                                                            | <b>13</b>  |
| <b>Introducción .....</b>                                                                                                                                                       | <b>17</b>  |
| <b>I. Fundamentos conceptuales .....</b>                                                                                                                                        | <b>19</b>  |
| <b>Capítulo 1</b>                                                                                                                                                               |            |
| Fundamentos estratégicos del manejo de materiales.....                                                                                                                          | 21         |
| <b>Capítulo 2</b>                                                                                                                                                               |            |
| Principios de diseño de sistemas de manejo de materiales: Los 20<br>principios clásicos y su aplicación.....                                                                    | 33         |
| <b>Capítulo 3</b>                                                                                                                                                               |            |
| Terminología y unidades de carga: estándares, pallets, contenedores,<br>cajas y empaques. La importancia de la unitarización para la<br>eficiencia .....                        | 47         |
| <b>II. Tecnologías y equipos para el manejo de materiales .....</b>                                                                                                             | <b>59</b>  |
| <b>Capítulo 4</b>                                                                                                                                                               |            |
| Equipos para el movimiento de materiales .....                                                                                                                                  | 61         |
| <b>Capítulo 5</b>                                                                                                                                                               |            |
| Sistemas de almacenamiento .....                                                                                                                                                | 77         |
| <b>Capítulo 6</b>                                                                                                                                                               |            |
| Sistemas de transporte y clasificación .....                                                                                                                                    | 93         |
| <b>Capítulo 7</b>                                                                                                                                                               |            |
| Identificación, captura y rastreo de datos: códigos de barras, RFID<br>(identificación por radiofrecuencia), sus aplicaciones y beneficios<br>en la gestión de inventarios..... | 109        |
| <b>III. Diseño y gestión del sistema.....</b>                                                                                                                                   | <b>123</b> |

**Capítulo 8**

Análisis del flujo de materiales: diagramas de flujo, diagramas de recorrido (**from-to chart**), cálculo de volúmenes y distancias.....127

**Capítulo 9**

Diseño de layout y almacenes: relación entre el diseño de la instalación y la eficiencia del manejo de materiales. Principios de almacenamiento (ABC, cross-docking).....137

**Capítulo 10**

Selección y evaluación económica de equipos: Criterios de selección, análisis de inversión y costo total de propiedad .....149

**Capítulo 11**

Gestión de inventarios y su relación con el manejo: Políticas de inventario, ubicación de stock y ciclos de conteo .....161

**IV. Aspectos transversales críticos en el manejo de materiales.....173****Capítulo 12**

Seguridad y ergonomía: Normativas, prevención de accidentes y diseño de estaciones de trabajo.....175

**Capítulo 13**

Sostenibilidad y medio ambiente: Eficiencia energética en equipos, reducción de emisiones, reciclaje de empaques y materiales, logística inversa .....187

**Capítulo 14**

Automatización y tendencias futuras: Industria 4.0, IoT, Big Data y gemelos digitales aplicados al manejo de materiales.....199

**Capítulo 15**

Casos de estudio y ejemplos de aplicación: Análisis de casos reales en diferentes industrias para integrar todos los conceptos.....213

**V. Actividades complementarias.....227****Práctica de Laboratorio 1**

Técnicas de flejado y optimización de almacenamiento .....231



## **Práctica de Laboratorio 2**

Ciclo completo de preparación, flejado y almacenamiento de mercancías .....237

## **Práctica de Laboratorio 3**

Principios de almacenamiento seguro y gestión de racks .....243

Práctica de Laboratorio 4

Almacenamiento y retrieval seguro con patín hidráulico.....249

## **Práctica de Laboratorio 5**

Manipulación integral de materiales con grúa puente y patín hidráulico .....255

**VI. Anexos** .....263

**Referencias** .....267



*Los verdaderos resultados surgen de pequeñas  
mejoras implementadas gradualmente  
—William Edwards Deming (1900-1993)*



## Prefacio

El presente libro, *Manejo de materiales: Fundamentos y aplicaciones logísticas*, ha sido concebido con un propósito claro y ambicioso: Contribuir a la formación de profesionales capaces de diseñar, operar y mejorar sistemas de manejo de materiales en organizaciones de manufactura, distribución y servicios, en un contexto de creciente complejidad tecnológica y exigencia competitiva.

El estudio sistemático de esta disciplina no solo proporciona conocimientos técnicos, sino que desarrolla un conjunto de competencias que definen el perfil de egreso del profesional en manejo de materiales. Al concluir la lectura y el aprovechamiento de esta obra, el alumno estará capacitado para:

### Competencias técnicas

El egresado será capaz de analizar flujos de materiales mediante herramientas cuantitativas como diagramas de recorrido, matrices *from-to* y el cálculo de volúmenes y distancias, estableciendo la base objetiva para decisiones de diseño. Podrá seleccionar equipos de manejo de materiales —desde transpaletas manuales hasta sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (AS/RS)— aplicando criterios de capacidad, versatilidad y costo total de propiedad (TCO). Diseñará *layouts* y sistemas de almacenamiento que integren principios como la clasificación ABC y estrategias de *cross-docking*, optimizando la relación entre espacio disponible y eficiencia operativa. Implementará tecnologías de identificación automática (códigos de barras, RFID) y sistemas de gestión de almacenes (WMS), reconociendo sus aplicaciones y limitaciones en contextos específicos. Evaluará la viabilidad económica de inversiones en manejo de materiales mediante el análisis integrado de Gastos de Capital (CAPEX), Gastos Operativos (OPEX) y Costo Total de Propiedad (TCO), sustentando decisiones con rigor financiero.

## Competencias analíticas y de diagnóstico

El egresado será capaz de diagnosticar operaciones existentes de manejo de materiales, identificando cuellos de botella, movimientos innecesarios, riesgos de seguridad y oportunidades de automatización. Podrá modelar y simular sistemas de manejo de materiales utilizando principios de la Industria 4.0, incluyendo gemelos digitales (*digital twins*) y analítica de datos. Evaluará el impacto del manejo de materiales en la cadena de suministro global, reconociendo cómo las decisiones locales afectan el desempeño sistémico.

## Competencias de diseño y mejora

El egresado será capaz de diseñar sistemas integrales de manejo de materiales que equilibren eficiencia operativa, inversión económica, seguridad laboral y sostenibilidad ambiental. Aplicará principios ergonómicos en el diseño de estaciones de trabajo, reduciendo la incidencia de trastornos musculoesqueléticos y mejorando la productividad del personal. Desarrollará soluciones de logística inversa y gestión de residuos de empaques, cerrando ciclos de materiales y reduciendo la huella ambiental de las operaciones. Liderará proyectos de mejora continua en manejo de materiales utilizando metodologías como *Lean Manufacturing*, *Six Sigma* y técnicas de análisis de valor.

## Competencias estratégicas

El egresado será capaz de alinear las decisiones de manejo de materiales con la estrategia competitiva de la organización, reconociendo cómo la eficiencia en el movimiento y almacenamiento de materiales impacta la rentabilidad, la satisfacción del cliente y la resiliencia de la cadena de suministro. Evaluará la adopción de tecnologías emergentes (robótica autónoma, *Internet of Things* [IoT], inteligencia artificial) considerando no solo su viabilidad técnica y económica, sino también su impacto en el capital humano y la cultura organizacional. Gestionará la transición hacia operaciones más sostenibles, integrando criterios de eficiencia energética, reducción de emisiones y economía circular en la selección de equipos y el diseño de procesos.

## Competencias humanas y de liderazgo

El egresado será capaz de comunicar efectivamente las decisiones de manejo de materiales a diferentes audiencias —operadores, supervisores, gerencia, clientes—, traduciendo conceptos técnicos en lenguaje accesible y persuasivo. Liderará equipos multidisciplinarios en proyectos de implementación y mejora, gestionando la resistencia al cambio y desarrollando las capacidades del personal. Aplicará principios de seguridad y ergonomía no como restricciones, sino como habilitadores de operaciones sostenibles, valorando el capital humano como el activo más importante de cualquier sistema de manejo de materiales.

## Estructura del libro y progresión del aprendizaje

Para el desarrollo progresivo de estas competencias, el libro se organiza en cuatro partes que reflejan la evolución natural del aprendizaje en manejo de materiales.

**La parte I: Los fundamentos estratégicos sientan las bases conceptuales:** Definición y objetivos del manejo de materiales, los veinte principios clásicos de diseño, terminología y sistemas de unitarización. Esta parte proporciona el lenguaje común y el marco de referencia que estructuran todo el pensamiento posterior.

**La parte II: Tecnologías y equipos.** Presenta el universo de herramientas disponibles para el movimiento, almacenamiento, transporte, clasificación e identificación de materiales. Desde equipos manuales hasta sistemas automatizados, pasando por vehículos autónomos y robótica, esta parte desarrolla la capacidad de seleccionar la tecnología adecuada para cada aplicación.

**La parte III: El diseño y gestión del sistema integran los conocimientos previos en un enfoque sistémico:** Análisis de flujo de materiales, diseño de *layout*, selección económica de equipos, gestión de inventarios y su relación con el manejo. Esta parte desarrolla la capacidad de diseñar sistemas completos, no solo seleccionar componentes aislados.

**La parte IV: Los aspectos transversales críticos abordan dimensiones que atraviesan todas las anteriores:** Seguridad y ergonomía, sostenibilidad ambiental, automatización y tendencias futuras (Industria 4.0), y casos de estudio que integran todos los conceptos en aplicaciones reales de manufactura, distribución y comercio electrónico.

## **Un compromiso con la formación profesional**

Este libro no aspira a ser una enciclopedia exhaustiva de todas las técnicas y equipos existentes —una tarea imposible dada la velocidad del cambio tecnológico—, sino una guía para el aprendizaje permanente. Los principios aquí desarrollados proporcionan el andamiaje conceptual sobre el cual el profesional podrá construir nuevo conocimiento a lo largo de su carrera, evaluando críticamente nuevas tecnologías y adaptándolas a sus contextos específicos..

Invitamos al lector a abordar este material no como un texto para memorizar, sino como una herramienta para pensar. Cada capítulo incluye aplicaciones prácticas y casos ilustrativos que conectan la teoría con los desafíos reales del manejo de materiales. Las preguntas de reflexión al final de cada sección están diseñadas no para verificar la comprensión, sino para estimular el pensamiento crítico y la transferencia de conceptos a situaciones nuevas.

El manejo de materiales es, en esencia, la disciplina que hace fluir la economía. Sin un manejo eficiente de materiales, las materias primas no llegan a las fábricas, los productos no llegan a los consumidores y las promesas de servicio no se cumplen. Al dominar esta disciplina, usted no solo adquiere competencias profesionales valiosas, sino que se convierte en un habilitador de la actividad económica y el bienestar social.

Confiamos en que este libro cumplirá su propósito de formar profesionales competentes, críticos y comprometidos con la excelencia en el manejo de materiales. El desafío es significativo, pero también lo es la oportunidad de contribuir a operaciones más eficientes, seguras y sostenibles. Le deseamos un provechoso recorrido por estas páginas.

*Los autores*





## Introducción

Imagine por un momento la operación de un gran centro de distribución de comercio electrónico. Un pedido en línea activa una secuencia coreografiada con precisión: un brazo robótico recupera un estante, un sistema transportador lleva el producto a una estación donde un operario, guiado por luz y sonido, lo recoge y empaqueta, y un vehículo guiado automáticamente lo traslada hacia la zona de despacho para su entrega. Esta sinfonía de movimiento, aparentemente invisible para el cliente final, es el resultado directo de la aplicación estratégica de los principios del manejo de materiales.

El manejo de materiales es una disciplina que, literalmente, es la fuerza motriz de la cadena de suministro global. Este libro, *Manejo de materiales: Fundamentos y aplicaciones logísticas* está diseñado para proporcionarle una comprensión integral de los conceptos, tecnologías y prácticas que hacen posible que las materias primas, los componentes en proceso y los productos terminados fluyan de manera eficiente, segura y económica desde el punto de origen hasta el punto de consumo.

A menudo subestimado o considerado una mera función operativa, el manejo de materiales es, en realidad, un elemento estratégico que impacta directamente en la rentabilidad, la productividad y la satisfacción del cliente. Un sistema mal diseñado se traduce en cuellos de botella, daños en la mercancía, elevados costos laborales y entregas tardías. Por el contrario, un sistema bien planificado es un facilitador clave de la ventaja competitiva, permitiendo la reducción de tiempos de ciclo, la optimización del espacio, la mejora de la precisión de los inventarios y la habilitación de prácticas modernas como la personalización masiva y la logística inversa.

A lo largo de estos capítulos, exploraremos los fundamentos que rigen esta disciplina, comenzando por sus principios de diseño y la unitarización de cargas. Profundizaremos en un universo de tecnologías y equipos, desde los montacargas y estanterías convencionales hasta los sistemas auto-

matizados de almacenamiento, vehículos guiados y software de gestión de almacenes (WMS) que definen la industria 4.0.

Finalmente, conectaremos estos conocimientos con aplicaciones logísticas concretas, analizando cómo se integra el manejo de materiales en el diseño de instalaciones, la gestión de inventarios y la búsqueda de operaciones sostenibles y ergonómicas.

# I

---

## **Fundamentos conceptuales**

## Introducción

El manejo de materiales, lejos de ser una función operativa aislada, constituye un sistema integral cuyo diseño y gestión inciden directamente en la productividad, la seguridad y la rentabilidad de las organizaciones. Comprender sus bases conceptuales no solo permite describir sus componentes, sino también analizar, diseñar y optimizar el flujo físico de materiales de manera lógica y eficiente. Este capítulo sienta las bases teóricas y definitorias esenciales para adentrarse en el estudio profundo de esta disciplina.

Se presenta en primer lugar una definición precisa del manejo de materiales, diferenciándolo de conceptos cercanos como la logística o el almacenamiento, y se enfatiza su papel como facilitador crítico dentro de la cadena de suministro. Posteriormente, se introducen y explican los veinte principios clásicos del manejo de materiales, los cuales funcionan como directrices universales para el diseño, la evaluación y la mejora de cualquier sistema, desde los más sencillos hasta los altamente automatizados.

Asimismo, se aborda el análisis fundamental del flujo de materiales, mediante herramientas como los diagramas de recorrido y los diagramas de origen-destino, que permiten cuantificar y visualizar los movimientos, proporcionando una base de datos para la toma de decisiones. Finalmente, se explican conceptos clave como la unitarización de cargas y la estandarización, elementos fundamentales para lograr la eficiencia, reducir el manejo y minimizar los costos.

El dominio de estos fundamentos conceptuales proporciona al estudiante y al profesional el marco mental necesario para evaluar críticamente operaciones existentes, proponer mejoras basadas en principios sólidos y comprender la lógica detrás de la selección de tecnologías y equipos que se profundizarán en capítulos posteriores. Este conocimiento es, en esencia, la piedra angular sobre la cual se construye toda competencia avanzada en la disciplina.

# Capítulo **1**

---

## **Fundamentos estratégicos del manejo de materiales**

## 1.1 Definición y alcance del manejo de materiales

El manejo de materiales constituye una disciplina técnica y gerencial que se ocupa del movimiento, protección, almacenamiento y control de materiales y productos a lo largo de todos los procesos de manufactura, distribución, consumo y disposición final. Esta definición, ampliamente aceptada por el Material Handling Institute (MHI), abarca un espectro que va desde la recepción de materias primas hasta la entrega del producto terminado al cliente, incluyendo también los flujos inversos asociados a devoluciones, reciclaje y reutilización.

El alcance del manejo de materiales trasciende la simple operación física, integrándose como un sistema complejo que involucra:

- **Equipos y tecnologías:** Desde montacargas convencionales hasta sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (AS/RS), vehículos autónomos y robótica colaborativa.
- **Infraestructura:** Diseño de almacenes, distribución de espacios, sistemas de racks y layouts productivos.
- **Procesos y procedimientos:** Métodos de trabajo, flujos de información, políticas de inventario y protocolos de seguridad.
- **Talento humano:** Operadores, supervisores, planeadores y personal de mantenimiento.
- **Tecnologías de información:** Sistemas de gestión de almacenes (WMS), Identificación por Radiofrecuencia (RFID), Internet de las Cosas (IoT) y plataformas de visibilidad en tiempo real.

Esta visión integral posiciona al manejo de materiales no como un centro de costo aislado, sino como un habilitador estratégico que conecta y sincroniza los diferentes eslabones de la cadena de suministro. Investigaciones del Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) indican que las organizaciones que gestionan estratégicamente sus sistemas de manejo de materiales logran ventajas competitivas sostenibles mediante la reducción de tiempos de ciclo, la mejora en la precisión de inventarios y el incremento en la satisfacción del cliente.

## 1.2 Objetivos fundamentales del manejo de materiales

Los objetivos del manejo de materiales se articulan alrededor de cuatro pilares interrelacionados que determinan su contribución al desempeño organizacional. Cada uno de estos objetivos debe ser entendido como parte de un sistema integrado, donde las mejoras en una dimensión frecuentemente generan impactos positivos en las demás.

### Eficiencia operativa

La eficiencia operativa en el manejo de materiales se define como la capacidad de realizar los movimientos, almacenamientos y controles requeridos con el mínimo consumo de recursos (tiempo, energía, espacio y mano de obra). Este objetivo se materializa mediante:

- **Minimización de recorridos:** Estudios clásicos de la industria manufacturera demuestran que entre el 30 % y el 70 % del tiempo de producción se dedica al movimiento de materiales, no a la transformación del producto. La optimización de distancias y rutas representa entonces una oportunidad significativa para incrementar la eficiencia global.
- **Reducción de manipulaciones:** Cada vez que un material es tomado, levantado, transportado o depositado, se incurre en costos de mano de obra, riesgos de daño y consumo de tiempo. La simplificación de procesos mediante la reducción de puntos de transferencia constituye un principio fundamental del manejo eficiente.
- **Maximización de utilización de equipos:** Los equipos de manejo de materiales representan inversiones de capital significativas. La eficiencia operativa exige programar su uso para maximizar horas productivas, minimizar tiempos de espera y mantener niveles óptimos de disponibilidad.
- **Sincronización de flujos:** La eficiencia no puede alcanzarse en silos aislados; requiere la coordinación precisa entre recepción, producción, almacenamiento y despacho para evitar cuellos de botella y acumulaciones de inventario en proceso.

## Reducción de costos

Los costos asociados al manejo de materiales representan una proporción significativa del costo total logístico y, por extensión, del costo total de los productos comercializados. Estudios sectoriales indican que:

- En industrias manufactureras, los costos de manejo de materiales oscilan entre el 15 % y el 30 % del costo total del producto.
- En operaciones de distribución y comercio electrónico, este rango puede alcanzar entre el 30 % y el 60 % de los costos operativos totales.
- A nivel macroeconómico, se estima que los costos logísticos (incluyendo transporte, almacenamiento y manejo de materiales) representan entre el 8 % y el 12 % del Producto Interno Bruto (PIB) de los países desarrollados.

**Las principales fuentes de costo en el manejo de materiales incluyen:**

| Componente de Costo  | Descripción                                                              | Proporción Típica |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Mano de obra directa | Operadores de equipos, personal de carga/descarga, picking               | 40-50 %           |
| Equipos y maquinaria | Adquisición, arrendamiento, depreciación                                 | 20-30 %           |
| Mantenimiento        | Reparaciones, refacciones, mantenimiento preventivo                      | 5-10 %            |
| Energía              | Combustibles, electricidad para equipos móviles y sistemas automatizados | 5-15 %            |
| Espacio              | Almacenamiento, áreas de maniobra                                        | 10-20 %           |
| Daños y mermas       | Productos dañados durante manipulación                                   | 2-5 %             |

La reducción de costos en manejo de materiales se logra mediante estrategias como la automatización de procesos repetitivos, la optimización de layouts, la implementación de políticas de mantenimiento predictivo y la adopción de tecnologías de identificación automática que reducen errores y reprocesos.



## Aumento de la productividad

La productividad en el contexto del manejo de materiales se define como la relación entre los productos o servicios generados y los recursos consumidos para lograrlo. Este objetivo trasciende la mera reducción de costos, enfocándose en maximizar el valor generado por unidad de recurso empleado.

Las métricas de productividad más utilizadas en la industria incluyen:

- **Unidades manejadas por operador-hora:** Indicador fundamental en operaciones de picking, carga y descarga.
- **Picking por hora:** Medida estándar en centros de distribución, que oscila entre 60 y 150 líneas por operador-hora en operaciones manuales, y puede superar las 500 líneas por hora en sistemas automatizados.
- **Ciclos de montacargas por turno:** Refleja la eficiencia en movimientos de materiales.
- **Palets almacenados por metro cuadrado:** Indicador de eficiencia espacial.

El aumento de la productividad se logra mediante la eliminación de movimientos innecesarios, la ergonomía en estaciones de trabajo, la capacitación continua del personal, la implementación de tecnologías asistidas (*voice picking, pick-to-light*) y la automatización de procesos de alto volumen.

## Mejora del servicio

La dimensión de servicio en el manejo de materiales se refiere a la capacidad de cumplir con los requisitos de los clientes internos (líneas de producción, departamentos) y externos (clientes finales) en términos de disponibilidad, oportunidad y precisión. Los elementos clave incluyen:

- **Disponibilidad de materiales:** Garantizar que los insumos requeridos estén en el lugar y momento adecuados para evitar paros de producción o incumplimiento de pedidos.
- **Precisión en el cumplimiento:** Alcanzar niveles de exactitud superiores al 99,5 % en la preparación de pedidos, objetivo estándar en operaciones de clase mundial.
- **Cumplimiento de plazos de entrega:** Reducir los tiempos de ciclo

desde la recepción del pedido hasta su despacho, cumpliendo consistentemente con las ventanas de tiempo comprometidas.

- **Calidad en la manipulación:** Minimizar daños durante el manejo y almacenamiento, preservando la integridad del producto hasta su entrega final.

La mejora en el servicio se traduce directamente en satisfacción del cliente, retención de cuentas clave y diferenciación competitiva en mercados donde el precio y la calidad se han vuelto *commodities*.

### 1.3 Impacto en la cadena de suministro

El manejo de materiales actúa como el sistema circulatorio de la cadena de suministro, conectando todos los nodos que la conforman. Su impacto se manifiesta en múltiples dimensiones:

#### Visibilidad y trazabilidad

Los sistemas modernos de manejo de materiales integran tecnologías de identificación automática (RFID, códigos de barras, visión artificial) que permiten capturar datos en tiempo real sobre la ubicación, estado y movimiento de los materiales. Esta visibilidad:

- Facilita la toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados.
- Permite la localización exacta de inventarios en tiempo real.
- Posibilita la trazabilidad completa desde el origen hasta el destino final, requisito crítico en industrias reguladas como alimentos, farmacéutica y automotriz.
- Reduce la incertidumbre operativa y permite una planificación más precisa.

#### Flexibilidad y capacidad de respuesta

En entornos caracterizados por alta variabilidad en la demanda, ciclos de vida de producto cada vez más cortos y creciente personalización, el manejo de materiales se convierte en un habilitador crítico de flexibilidad. Los sistemas de manejo ágiles permiten:

- Adaptarse rápidamente a cambios en el mix de productos.
- Gestionar picos estacionales sin degradación en el servicio.

- Implementar estrategias de cross-docking que eliminan inventarios intermedios.
- Soportar modelos de negocio basados en comercio electrónico con perfiles de pedido altamente fragmentados.

## Integración de procesos

El manejo de materiales funciona como el integrador físico que conecta los diferentes eslabones de la cadena de suministro:

- **Con proveedores:** a través de la gestión de recepciones, verificación de calidad y transferencia a almacenes o producción.
- **Con producción:** mediante el suministro oportuno de materiales a líneas de ensamble, manejo de producto en proceso y transferencia a almacenes de producto terminado.
- **Con distribución:** a través del consolidado de pedidos, preparación de despachos y carga de unidades de transporte.
- **Con clientes:** mediante la preparación precisa y el despacho oportuno que determina la experiencia de compra.

Esta integración evita la formación de inventarios en proceso, reduce los tiempos de ciclo totales y mejora la sincronización de toda la cadena.

## 1.4 Impacto en la rentabilidad empresarial

La contribución del manejo de materiales a la rentabilidad de la organización opera a través de dos vías principales: reducción de costos operativos y generación de ingresos mediante diferenciación en servicio.

### Reducción de costos operativos

El impacto directo sobre los costos se cuantifica en:

- **Reducción de costos de mano de obra:** mediante automatización y métodos más eficientes.
- **Optimización de capital de trabajo:** a través de reducción de inventarios en proceso y mayor rotación de inventarios.

- **Disminución de costos de mantenimiento:** mediante programas de mantenimiento predictivo que evitan fallas catastróficas.
- **Ahorro energético:** a través de equipos más eficientes, recuperación de energía en sistemas de transporte y optimización de recorridos.
- **Reducción de pérdidas:** por daños, mermas, obsolescencia y robo.

Un estudio del Material Handling Institute (2022) documentó que empresas que implementaron programas integrales de optimización en manejo de materiales lograron reducciones de costos totales en el rango del 15 % al 25 % en operaciones logísticas.

### **Generación de ingresos mediante diferenciación en servicio**

Más allá de la reducción de costos, el manejo de materiales impacta positivamente en los ingresos mediante:

- **Mayor satisfacción del cliente:** La precisión en el cumplimiento, la puntualidad en las entregas y la calidad en la presentación de productos generan lealtad y repetición de compra.
- **Capacidad de ofrecer servicios de valor agregado:** como etiquetado, kitting, personalización de empaques y manejo de devoluciones.
- **Reducción de penalizaciones:** por incumplimiento en ventanas de entrega o errores en pedidos.
- **Expansión de mercados:** La eficiencia en manejo de materiales posibilita atender mercados geográficamente distantes con niveles de servicio competitivos.

### **Retorno sobre la inversión en tecnologías**

Las inversiones en sistemas de manejo de materiales deben evaluarse bajo un enfoque de costo total de propiedad (Total Cost of Ownership [TCO]). La experiencia documentada en múltiples industrias indica períodos de retorno de inversión (ROI) típicos de 2 a 5 años para proyectos de automatización en manejo de materiales, con beneficios que incluyen::

- Incrementos de productividad del 20 % al 50 %.

- Reducción de costos de mano de obra directa del 30 % al 70 % en procesos automatizados.
- Mejoras en precisión de inventarios del 95 % al 99,9 %.
- Reducción de tiempos de ciclo de pedido del 40 % al 80 %.

## 1.5 Conexión con estrategias corporativas

El manejo de materiales no opera en aislamiento, sino que constituye un elemento habilitador de estrategias corporativas de mayor alcance:

### Lean manufacturing

En el contexto de Lean Manufacturing, el manejo de materiales contribuye a la eliminación de los siete tipos de desperdicios (muda):

- **Sobreproducción:** Mediante sistemas pull que entregan materiales solo cuando son requeridos.
- **Inventarios:** A través de reducción de inventarios en proceso y almacenamiento eficiente.
- **Transporte:** Optimizando recorridos y eliminando movimientos innecesarios.
- **Movimientos:** Mediante ergonomía y diseño de estaciones de trabajo.
- **Esperas:** Sincronizando el flujo para evitar tiempos muertos.
- **Sobrepcesamiento:** Simplificando manipulaciones.
- **Defectos:** A través de manipulación cuidadosa que evita daños.

### Logística inversa

La creciente importancia de la sostenibilidad y la economía circular ha posicionado a la logística inversa como estrategia crítica. El manejo de materiales en este contexto incluye:

- **Recepción y clasificación de devoluciones:** Procesos eficientes para determinar disposición final.
- **Reacondicionamiento y remanufactura:** Manejo de materiales para procesos de reparación y renovación.
- **Reciclaje:** Separación y consolidación de materiales para su reintroducción en cadenas de valor.
- **Disposición final:** Manejo seguro de residuos no aprovechables.

## Comercio electrónico y omnicanalidad

La transformación digital del comercio ha generado nuevos requisitos para los sistemas de manejo de materiales:

- **Alta fragmentación de pedidos:** Preparación de pedidos de una o pocas unidades.
- **Velocidad:** Cumplimiento en ventanas de horas, no días.
- **Precisión extrema:** Niveles de exactitud superiores al 99.9 % para evitar devoluciones costosas.
- **Flexibilidad:** Capacidad de atender múltiples canales (tiendas físicas, e-commerce, B2B) desde una misma infraestructura.
- **Visibilidad:** Rastreo granular que permite al cliente conocer en tiempo real el estado de su pedido.

### 1.6 Tablas de síntesis

**Tabla 1.1.** *Impacto del manejo de materiales en indicadores clave de desempeño.*

| Indicador de Desempeño                  | Valor Base Típico | Valor Post-Optimización | Mejora Documentada |
|-----------------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|
| Tiempo de ciclo de pedido (horas)       | 24-48             | 6-12                    | 50-75 %            |
| Precisión de inventario (%)             | 90-95             | 99-99.5                 | 5-10 %             |
| Productividad de picking (líneas/hora)  | 60-80             | 150-250                 | 100-200 %          |
| Utilización de espacio (%)              | 60-70             | 85-95                   | 15-25 %            |
| Índice de daños (unidades dañadas/1000) | 5-15              | 1-3                     | 70-80 %            |
| Costo logístico como % de ventas        | 8-12              | 6-9                     | 15-25 %            |

**Tabla 1.2.** *Relación entre estrategias corporativas y requerimientos de manejo de materiales.*

| <b>Estrategia Corporativa</b> | <b>Requerimientos Clave</b>                  | <b>Tecnologías Habilitadoras</b>            | <b>Beneficios Esperados</b>          |
|-------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| Lean Manufacturing            | Flujo pull, JIT, minimización de inventarios | Kanban electrónico, AGV, WMS                | Reducción de inventarios 30-50 %     |
| Logística Inversa             | Clasificación eficiente, trazabilidad        | Sistemas de clasificación automática, RFID  | Recuperación de valor 15-25 %        |
| E-commerce Omnicanal          | Picking por unidad, velocidad, precisión     | Voice picking, sorters, AMR                 | Crecimiento de ventas online 20-40 % |
| Sostenibilidad                | Eficiencia energética, reducción de residuos | Equipos eléctricos, embalajes reutilizables | Reducción huella carbono 20-35 %     |

**Tabla 1.3.** *Estructura de costos en manejo de materiales por tipo de operación.*

| <b>Componente de Costo</b> | <b>Manufactura (% del costo total)</b> | <b>Distribución (% del costo total)</b> | <b>E-commerce (% del costo total)</b> |
|----------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| Mano de obra directa       | 35-45                                  | 45-55                                   | 50-60                                 |
| Equipos y maquinaria       | 25-35                                  | 20-25                                   | 15-20                                 |
| Mantenimiento              | 8-12                                   | 5-8                                     | 4-6                                   |
| Energía                    | 5-8                                    | 8-12                                    | 6-8                                   |
| Espacio                    | 8-12                                   | 10-15                                   | 8-12                                  |
| Daños y mermas             | 2-4                                    | 1-3                                     | 2-5                                   |
| Tecnología de información  | 3-5                                    | 4-6                                     | 6-8                                   |





# Capítulo 2

---

## **Principios de diseño de sistemas de manejo de materiales: Los 20 principios clásicos y su aplicación**

## 2.1 introducción a los principios de diseño

El diseño de sistemas de manejo de materiales no es una actividad que pueda dejarse a la intuición o la improvisación. Por el contrario, constituye un proceso de ingeniería que requiere la aplicación sistemática de principios probados a lo largo de décadas de experiencia industrial y académica. Estos principios, compilados originalmente por el Material Handling Institute (MHI) y refinados por expertos como el Council for Industrial and Material Handling Education (CICMHE), proporcionan un marco conceptual que guía al diseñador desde la conceptualización hasta la implementación de sistemas eficientes, seguros y económicamente viables.

Los veinte principios de manejo de materiales representan la sabiduría colectiva de profesionales y académicos en la disciplina. No deben ser entendidos como reglas rígidas de cumplimiento obligatorio, sino como directrices flexibles que, aplicadas con juicio profesional, permiten alcanzar soluciones óptimas en contextos específicos. En ocasiones, un principio puede entrar en conflicto aparente con otro, y será la situación particular —caracterizada por variables como el tipo de material, los volúmenes de operación, las restricciones de espacio y los objetivos estratégicos— la que determine el equilibrio adecuado entre ellos.

Este capítulo presenta de manera exhaustiva los veinte principios fundamentales, organizados en categorías conceptuales que facilitan su comprensión y aplicación práctica. Para cada principio, se ofrece su definición precisa, la justificación de su importancia y ejemplos concretos de implementación en contextos industriales y logísticos contemporáneos.

## 2.2 principios de planificación y estrategia

### **Principio 1: Principio de orientación (*orientation principle*)**

El principio de orientación establece que, antes de cualquier actividad de planeación detallada, es necesario estudiar exhaustivamente las relaciones del sistema, identificando métodos existentes, problemas actuales, restricciones físicas y económicas, así como los requerimientos y metas futuras.

Este principio enfatiza la necesidad de comprender el contexto antes de proponer soluciones. En la práctica, esto implica realizar análisis detallados de flujos de materiales, entrevistas con personal operativo, revisión de datos históricos de producción y distribución, y un diagnóstico riguroso de las condiciones actuales antes de iniciar cualquier proyecto de mejora o nueva implementación.

### **Principio 2: Principio de planificación (*planning principle*)**

La planificación debe establecer un marco que incluya los requerimientos básicos, las opciones deseables y las consideraciones de contingencias para todas las actividades de manejo y almacenamiento de materiales. Este principio reconoce que el manejo de materiales no puede ser una actividad reactiva, sino que requiere una previsión sistemática. Una planificación efectiva considera no solo las necesidades inmediatas, sino también las proyecciones de crecimiento, los cambios tecnológicos esperados y los escenarios de contingencia. La planificación debe abarcar desde la recepción de materias primas hasta el embarque de productos terminados, incluyendo todos los puntos de transferencia y almacenamiento intermedio.

### **Principio 3: Principio de sistema (*system principle*)**

El manejo de materiales debe concebirse como un sistema integrado, donde las actividades de manejo y almacenamiento económicamente viables se coordinan en una operación unificada que abarca recepción, inspección, almacenamiento, producción, ensamble, empaque, almacenamiento de producto terminado, embarque y transporte. Este principio rechaza el enfoque fragmentado donde cada área optimiza su propio funcionamiento sin considerar el impacto en el conjunto. La aplicación del principio de sistema requiere una visión holística que considere las interdependencias entre las diferentes etapas de la cadena de suministro y busque la optimización global más que los óptimos locales.

Tabla 2.1. Integración de procesos bajo el Principio de Sistema.

| Proceso integrado | Actividades de manejo involucradas                      | Interdependencias clave                           |
|-------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Recepción         | Descarga, verificación, registro, clasificación         | Alimenta almacenamiento y producción              |
| Almacenamiento    | Ubicación, conservación, control de inventarios         | Afecta disponibilidad para producción y despacho  |
| Producción        | Abastecimiento de líneas, manejo de WIP, transferencias | Determinante de flujo y tiempos de ciclo          |
| Empaque           | Consolidación, unitarización, etiquetado                | Impacta eficiencia de almacenamiento y transporte |
| Embarque          | Preparación de pedidos, carga, documentación            | Último eslabón antes del cliente                  |

## 2.3 Principios de unitarización y estandarización

### Principio 4: Principio de unitarización (*unit load principle*)

Este principio establece que los productos deben ser manejados en unidades de carga tan grandes como sea práctico. La unitarización —la consolidación de múltiples ítems individuales en una sola unidad que puede ser movida, almacenada y controlada como una entidad— constituye uno de los conceptos más fundamentales en manejo de materiales. La aplicación de este principio reduce la cantidad de manipulaciones individuales, disminuye el tiempo de carga y descarga, facilita la utilización de equipos mecanizados y reduce el riesgo de daños. Las unidades de carga típicas incluyen pallets, contenedores, cajas y tambores, cuya selección debe considerar factores como resistencia, costo, versatilidad, durabilidad y facilidad de manejo.

### Principio 5: Principio de estandarización (*standardization principle*)

Los métodos, equipos, controles y software de manejo de materiales deben ser estandarizados para alcanzar los objetivos globales del sistema, sin sacrificar la flexibilidad, modularidad y capacidad de procesamiento. La estandarización

facilita la interoperabilidad entre diferentes componentes del sistema, reduce los costos de capacitación y mantenimiento, simplifica la gestión de inventarios de refacciones y permite una mayor flexibilidad en la asignación de recursos. En la práctica, esto implica adoptar dimensiones de pallets normalizadas (como el europalet de 1200×800 mm o el palet ISO de 1200×1000 mm), sistemas de identificación consistentes (códigos de barras, RFID) y formatos de datos compatibles entre los diferentes sistemas de información.

### **Principio 6: Principio de tamaño de unidad (*unit size principle*)**

Al seleccionar la carga unitaria, deben considerarse factores como resistencia, costo, versatilidad, durabilidad, tamaño y facilidad de uso, con el objetivo de optimizar el tamaño, cantidad o peso de las unidades de carga. Este principio complementa al de unitarización, enfocándose en la determinación del tamaño óptimo de la unidad de carga. Una unidad demasiado grande puede ser difícil de manejar, requerir equipos especializados y resultar inflexible; una unidad demasiado pequeña puede incrementar el número de manipulaciones y reducir la eficiencia. El equilibrio debe basarse en análisis de los volúmenes de operación, las características de los productos y las capacidades de los equipos disponibles.

## **2.4 Principios de ergonomía y seguridad**

### **Principio 7: Principio de ergonomía (*ergonomic principle*)**

Este principio reconoce las capacidades y limitaciones humanas en el diseño de sistemas de manejo de materiales. La ergonomía busca adaptar el trabajo al trabajador, no al contrario. En el contexto del manejo de materiales, esto implica diseñar estaciones de trabajo que minimicen los esfuerzos físicos excesivos, evitar posturas forzadas, reducir la frecuencia de levantamientos manuales pesados y proporcionar equipos asistidos que complementen la fuerza humana. La aplicación de este principio no solo reduce la incidencia de lesiones musculoesqueléticas —una de las principales causas de ausentismo laboral—, sino que también mejora la productividad al reducir la fatiga y aumentar la satisfacción del operario.

### **Principio 8: Principio de seguridad (*safety principle*)**

La seguridad debe ser incorporada como un elemento integral en el diseño de sistemas y la selección de equipos de manejo de materiales. Este principio reconoce que el manejo de materiales es una de las actividades industriales con mayor incidencia de accidentes laborales. La aplicación del principio de seguridad implica la implementación de protecciones en equipos (resguardos, sensores de presencia, sistemas de advertencia), el diseño de rutas seguras que separen el tránsito de personas y vehículos, la capacitación continua de operadores y el establecimiento de procedimientos operativos estandarizados que contemplen los riesgos específicos de cada actividad.

## **2.5 Principios de eficiencia operativa**

### **Principio 9: Principio de simplificación (*simplification principle*)**

El manejo de materiales debe simplificarse mediante la eliminación, reducción o combinación de movimientos y/o equipos innecesarios. Cada movimiento, transferencia o manipulación representa un costo, un riesgo de daño y una oportunidad de error. La simplificación busca minimizar el número de veces que un material es manejado, reducir las distancias recorridas y eliminar pasos que no agregan valor. Este principio está estrechamente vinculado con la filosofía Lean Manufacturing y su enfoque en la eliminación de desperdicios (*muda*). La simplificación frecuentemente se logra mediante el rediseño de procesos, la reorganización del layout o la implementación de flujos continuos.

### **Principio 10: Principio de flujo de material (*material flow principle*)**

Este principio establece la necesidad de una secuencia de operaciones y una disposición de equipos que optimicen el flujo de materiales. El flujo de materiales debe ser continuo, sin interrupciones innecesarias, siguiendo una secuencia lógica que minimice los retrocesos y los cruces. La aplica-

ción de este principio implica diseñar layouts que sigan el flujo natural del proceso productivo, evitar almacenamientos intermedios innecesarios y sincronizar las diferentes etapas para prevenir cuellos de botella. Un flujo de material bien diseñado reduce los tiempos de ciclo, disminuye los inventarios en proceso y mejora la predictibilidad de las operaciones.

### **Principio 11: Principio de gravedad (*gravity principle*)**

Siempre que sea posible, debe utilizarse la fuerza de gravedad para el movimiento de materiales. Este principio reconoce que la gravedad es una fuente de energía gratuita y confiable. Su aplicación incluye el uso de rampas para el movimiento descendente de cargas, sistemas de deslizamiento en estanterías que permiten el flujo por gravedad (*gravity flow racks*) y la disposición de equipos que aprovecha la caída natural de materiales. La utilización de la gravedad no solo reduce el consumo energético, sino que también simplifica los sistemas de control al eliminar la necesidad de equipos motorizados en ciertos tramos del flujo.

### **Principio 12: Principio de utilización del espacio (*space utilization principle*)**

Este principio promueve la máxima utilización posible de todo el volumen del edificio, incluyendo la dimensión vertical. Frecuentemente, las organizaciones subutilizan el espacio disponible al no aprovechar la altura de sus instalaciones. La aplicación de este principio implica el uso de estanterías de alta densidad, sistemas de almacenamiento vertical (como los AS/RS), mezzanines que crean niveles adicionales de almacenamiento, y equipos de manejo con capacidad de elevación suficiente para acceder a las alturas disponibles. La optimización del espacio no solo reduce los costos de almacenamiento, sino que también puede acortar las distancias de recorrido al consolidar operaciones en un volumen menor.

## 2.6 Principios de mecanización y automatización

### **Principio 13: Principio de mecanización (*mechanization principle*)**

El proceso de manejo debe ser mecanizado cuando sea factible, para aumentar la eficiencia y economía en el manejo de materiales. La mecanización implica la sustitución del esfuerzo humano por equipos mecánicos en actividades de movimiento, elevación y transporte. Su aplicación puede ir desde el uso de transpaletas manuales hasta sistemas complejos de transportadores. La mecanización no solo incrementa la productividad, sino que también reduce la fatiga del operador y los riesgos de lesiones asociados al manejo manual de cargas. La decisión de mecanizar debe basarse en un análisis de volúmenes, frecuencias y costos que justifique la inversión.

### **Principio 14: Principio de automatización (*automation principle*)**

Se debe implementar una mecanización y/o automatización razonable de las operaciones para mejorar la eficiencia, la velocidad de respuesta y la consistencia, reduciendo costos y eliminando trabajos repetitivos y potencialmente inseguros. La automatización va más allá de la simple mecanización, incorporando sistemas de control que permiten que los equipos operen sin intervención humana directa. Los sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (AS/RS), los vehículos guiados automáticamente (AGV) y los sistemas de clasificación automática (*sorters*) son ejemplos de aplicación de este principio. La automatización es particularmente valiosa en operaciones de alto volumen, alta repetitividad o donde la precisión y consistencia son críticas.



**Tabla 2.2.** Niveles de automatización en manejo de materiales.

| Nivel          | Descripción                                  | Ejemplos                                           | Aplicación típica                     |
|----------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Manual         | Operación sin asistencia mecánica            | Carros manuales, manejo directo                    | Bajo volumen, operaciones esporádicas |
| Mecanizado     | Asistencia mecánica con operador             | Transpaletas eléctricas, montacargas               | Volumen medio, flexibilidad requerida |
| Semiautomático | Equipos automatizados con supervisión humana | AS/RS con operador en cabina, <i>pick-to-light</i> | Operaciones mixtas, picking asistido  |
| Automático     | Operación sin intervención humana            | AGV, AS/RS totalmente automático, <i>sorters</i>   | Alto volumen, procesos repetitivos    |
| Autónomo       | Toma de decisiones adaptativa                | AMR con navegación inteligente                     | Entornos dinámicos, alta flexibilidad |

## 2.7 Principios de flexibilidad y adaptabilidad

### Principio 15: Principio de flexibilidad (*flexibility principle*)

Deben utilizarse métodos y equipos que puedan realizar una variedad de tareas bajo diversas condiciones operativas. La flexibilidad se ha convertido en un atributo crítico en entornos caracterizados por alta variabilidad en la demanda, ciclos de vida de producto cortos y creciente personalización. La aplicación de este principio implica seleccionar equipos modulares que puedan reconfigurarse, adoptar sistemas de almacenamiento que puedan adaptarse a diferentes tipos de productos y diseñar *layouts* que permitan cambios sin interrupciones mayores. El uso de equipos de propósito general, en lugar de equipos altamente especializados, frecuentemente proporciona la flexibilidad necesaria para responder a condiciones cambiantes.

**Principio 16: Principio de adaptabilidad (*adaptability principle*)**

Deben utilizarse métodos y equipos que puedan desempeñar diferentes tareas y aplicaciones de la mejor manera posible, cuando el uso de equipos de propósito especial no esté justificado. Este principio complementa al de flexibilidad, enfatizando la capacidad de adaptación a diferentes productos, procesos y condiciones. En la práctica, esto puede significar la adquisición de pallets de tamaño estándar que puedan manejar una amplia variedad de piezas, o sistemas de almacenamiento modulares que puedan reconfigurarse para diferentes tipos de inventario. La adaptabilidad reduce la necesidad de múltiples equipos especializados y facilita la respuesta a cambios en el mix de productos.

**2.8 Principios de gestión económica****Principio 17: Principio de costo total (*total cost of ownership principle*)**

Para todos los equipos de manejo de materiales y para el sistema final, debe realizarse un análisis económico exhaustivo que considere el ciclo de vida completo. Este principio reconoce que el precio de adquisición es solo uno de los componentes del costo total. Un análisis completo de costo total de propiedad (TCO) incluye: costo inicial de adquisición, costos de instalación y puesta en marcha, costos de operación (energía, mano de obra), costos de mantenimiento (preventivo y correctivo), costos de capacitación y valor residual al final de la vida útil. La aplicación de este principio evita decisiones basadas únicamente en la inversión inicial que resultan en costos operativos superiores a largo plazo.

**Principio 18: Principio de mantenimiento (*maintenance principle*)**

Los equipos de manejo de materiales deben mantenerse mediante un sistema de mantenimiento preventivo planificado periódicamente, que resulta más económico que el mantenimiento de emergencia. Este principio

establece que el mantenimiento no debe ser una actividad reactiva, sino proactiva. Un programa efectivo de mantenimiento preventivo incluye: programación de inspecciones regulares, lubricación según especificaciones, reemplazo programado de componentes críticos y registro sistemático de intervenciones. La aplicación de este principio no solo reduce los costos de mantenimiento a largo plazo, sino que también minimiza las interrupciones no planificadas que afectan la productividad.

### **Principio 19: Principio de obsolescencia (*obsolescence principle*)**

Deben mantenerse registros adecuados para identificar equipos desgastados y realizar los arreglos necesarios para el reemplazo de técnicas y equipos obsoletos, con el fin de mejorar las operaciones. Este principio reconoce que la tecnología y las prácticas de manejo de materiales evolucionan continuamente. La obsolescencia puede ser técnica (cuando existen equipos más eficientes), funcional (cuando el equipo ya no satisface las necesidades actuales) o económica (cuando los costos de mantenimiento superan el valor de reemplazo). La aplicación sistemática de este principio implica evaluar periódicamente el parque de equipos, mantener registros de desempeño y costos, y planificar el reemplazo antes de que la obsolescencia afecte la competitividad.

### **Principio 20: Principio de desempeño (*performance principle*)**

La efectividad del desempeño en manejo de materiales debe determinarse en términos de costo por unidad manejada. Este principio establece que el desempeño debe medirse objetivamente mediante métricas que reflejen la eficiencia del sistema. La productividad puede expresarse como la relación entre la producción (unidades manejadas) y los recursos consumidos (horas de mano de obra, energía, etc.). Sin embargo, el principio de desempeño enfatiza que la medición debe ir más allá de la productividad laboral, incorporando todos los costos operativos asociados al manejo de materiales. Las métricas de desempeño deben ser consistentes a lo largo del tiempo, comparables entre diferentes períodos y operaciones, y estar vinculadas a los objetivos estratégicos de la organización.

## 2.9 Tablas de síntesis y aplicación

**Tabla 2.3.** Los veinte principios de manejo de materiales - Clasificación y aplicación.

| Categoría                   | Principio              | Descripción Sintética                                   | Aplicación Práctica                                 |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Planificación               | Orientación            | Estudiar relaciones y restricciones antes de planificar | Diagnóstico de flujos, análisis de datos históricos |
| Planificación               | Planificación          | Establecer plan con requerimientos y contingencias      | Proyectos de implementación con fases definidas     |
| Planificación               | Sistema                | Integrar actividades en sistema coordinado              | WMS integrado con equipos de manejo                 |
| Unitarización               | Unitarización          | Manejar en unidades de carga grandes                    | Paletización, contenedores estandarizados           |
| Unitarización               | Estandarización        | Uniformar métodos, equipos y controles                  | Palets ISO, formatos de datos compatibles           |
| Unitarización               | Tamaño de unidad       | Optimizar dimensiones de carga unitaria                 | Análisis de volumen vs. facilidad de manejo         |
| Ergonomía/Seguridad         | Ergonomía              | Adaptar trabajo a capacidades humanas                   | Estaciones ajustables, equipos asistidos            |
| Ergonomía/Seguridad         | Seguridad              | Incorporar protección en diseño                         | Resguardos, sensores, capacitación                  |
| Eficiencia                  | Simplificación         | Eliminar movimientos y equipos innecesarios             | Rediseño de procesos, reducción de transferencias   |
| Eficiencia                  | Flujo de material      | Optimizar secuencia y layout                            | Layout en línea, flujo continuo                     |
| Eficiencia                  | Gravedad               | Utilizar fuerza gravitacional                           | Rampas, <i>gravity flow racks</i>                   |
| Eficiencia                  | Utilización de espacio | Aprovechar volumen total                                | Estanterías altas, mezzanines                       |
| Mecanización/Automatización | Mecanización           | Sustituir esfuerzo humano por mecánico                  | Transpaletas, transportadores                       |
| Mecanización/Automatización | Automatización         | Implementar control automático                          | AS/RS, AGV, <i>sorters</i>                          |
| Flexibilidad                | Flexibilidad           | Capacidad para múltiples tareas                         | Equipos modulares, <i>layouts</i> reconfigurables   |

| <b>Categoría</b>  | <b>Principio</b> | <b>Descripción Sintética</b>        | <b>Aplicación Práctica</b>            |
|-------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Flexibilidad      | Adaptabilidad    | Adaptación a diferentes condiciones | Sistemas multiproducto                |
| Gestión Económica | Costo total      | Análisis de ciclo de vida completo  | TCO en selección de equipos           |
| Gestión Económica | Mantenimiento    | Programa preventivo planificado     | Inspecciones programadas, lubricación |
| Gestión Económica | Obsolescencia    | Reemplazo planificado de equipos    | Evaluación periódica del parque       |
| Gestión Económica | Desempeño        | Medición en costo por unidad        | KPIs de productividad y eficiencia    |

**Tabla 2.4.** *Aplicación de principios por tipo de operaciones.*

| <b>Principio</b> | <b>Centro de distribución<br/>(E-commerce)</b> | <b>Planta de manufactura<br/>(Automotriz)</b> | <b>Almacén de materias primas<br/>(Química)</b> |
|------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Planificación    | Análisis de estacionalidad, picos de demanda   | Sincronización con producción JIT             | Gestión de lotes, caducidades                   |
| Sistema          | WMS integrado con transportadores y sorters    | Integración con ERP y MES                     | Control de inventarios con trazabilidad         |
| Unitarización    | Contenedores estandarizados por SKU            | Palets específicos por proveedor              | Contenedores a granel, <i>big bags</i>          |
| Ergonomía        | Estaciones de picking ajustables               | Mesas elevadoras en líneas                    | Sistemas de extracción automatizada             |
| Automatización   | AMR, sorters de alta velocidad                 | AGV, robots depaletizado                      | AS/RS para materiales peligrosos                |
| Flexibilidad     | Sistemas modulares, <i>pick-to-light</i>       | Líneas mixtas, herramientas rápidas           | Capacidad multiproducto                         |
| Espacio          | Estanterías de alta densidad, mezzanines       | Almacenamiento en altura, entrepiso           | Silos, tanques, racks especializados            |



# Capítulo 3

---

**Terminología y unidades de carga:  
estándares, pallets, contenedores, cajas  
y empaques. La importancia de la  
unitarización para la eficiencia**

### 3.1 Introducción a la unitarización

La unitarización constituye uno de los conceptos más fundamentales en el manejo de materiales. Se define como el proceso de agrupar productos individuales en unidades de carga de mayor tamaño que puedan ser movidas, almacenadas y controladas como una sola entidad a lo largo de la cadena de suministro. Este principio transforma la manipulación de múltiples ítems pequeños en el manejo de una carga consolidada, generando economías de escala en todas las operaciones logísticas posteriores.

La importancia estratégica de la unitarización radica en su capacidad para reducir exponencialmente el número de manipulaciones requeridas. Un embarque de 1000 cajas individuales, por ejemplo, requiere 1000 movimientos si se maneja de manera suelta; sin embargo, al consolidarse en 20 *pallets* de 50 cajas cada uno, el número de movimientos se reduce a solo 20, con una correspondiente disminución en tiempo, costo y riesgo de daños. Esta reducción en la frecuencia de manejo constituye la base sobre la cual se construyen operaciones logísticas eficientes.

La evolución de los sistemas de unitarización ha llevado al desarrollo de una terminología especializada que todo profesional del manejo de materiales debe dominar. Los términos "carga unitaria" (*unit load*), "unitarización" (*unitization*), "paletización" (*palletization*) y "contenedorización" (*containerization*) describen diferentes niveles y enfoques de consolidación de cargas, cada uno con sus propias aplicaciones y ventajas características.

### 3.2 Estándares internacionales para unidades de carga

La estandarización constituye el pilar fundamental sobre el cual se sostiene la eficiencia global del manejo de materiales. Sin dimensiones normalizadas, la interoperabilidad entre diferentes eslabones de la cadena de suministro sería imposible, y cada transferencia entre modos de transporte o instalaciones requeriría costosas adaptaciones.



## Organismos normalizadores

La International Organization for Standardization (ISO) es el principal organismo responsable de establecer estándares globales para unidades de carga. A través del comité técnico ISO/TC 104 (*Freight containers*) y el subcomité ISO/TC 51 (*Unit load platforms*), se han desarrollado las normas fundamentales que rigen dimensiones, tolerancias y métodos de prueba para *pallets* y contenedores.

Entre las normas ISO más relevantes para la unitarización se encuentran:

- **ISO 6780:2003** *Flat pallets for intercontinental materials handling — Principal dimensions and tolerances*. Esta norma establece las dimensiones principales y tolerancias para pallets planos utilizados en el manejo de materiales intercontinental.
- **ISO 668** *Series 1 freight containers — Classification, dimensions and ratings*. Define las clasificaciones, dimensiones y capacidades nominales para contenedores de carga de la Serie 1, los más utilizados en el comercio global.
- **ISO 3676** *Packaging — Unit load dimensions*. Especifica las dimensiones de las cargas unitarias para facilitar su compatibilidad con los sistemas de transporte y almacenamiento.
- **EN 13698-1** Norma europea que especifica los requisitos de construcción para pallets planos de madera de 800 mm × 1200 mm, complementaria a ISO 6780.

## Principales estándares regionales

A pesar de los esfuerzos de globalización, persisten diferencias regionales significativas en los estándares de unitarización, reflejando las particularidades históricas y operativas de cada mercado.

**Tabla 3.1.** Principales estándares internacionales de pallets.

| Estándar           | Dimensiones (mm) | Región de uso              | Norma asociada       | Organismo emisor |
|--------------------|------------------|----------------------------|----------------------|------------------|
| Europallet (EUR 1) | 1200 × 800 × 144 | Europa                     | EN 13698-1, ISO 6780 | EPAL             |
| EUR 2              | 1200 × 1000      | Reino Unido, internacional | ISO 6780             | EPAL / ISO       |

| Estándar               | Dimensiones (mm)        | Región de uso                       | Norma asociada | Organismo emisor |
|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|----------------|------------------|
| EUR 3                  | 1000 × 1200             | Europa<br>(orientación alternativa) | ISO 6780       | EPAL             |
| ISO Pallet             | 1200 × 1000             | Global (Asia, Australia)            | ISO 6780       | ISO              |
| US GMA Pallet          | 1219 × 1016 (48" × 40") | Norteamérica                        | ISO 3676       | GMA / ISO        |
| EUR 6<br>(Half pallet) | 800 × 600               | Europa (retail)                     | EN 13698-1     | EPAL             |

### 3.3 Pallets: tipos, características y aplicaciones

El pallet es la plataforma de unitarización más ampliamente utilizada en el manejo de materiales global. Su función principal es servir como base sobre la cual se consolida la carga, facilitando su movimiento mediante equipos mecanizados como montacargas y transpaletas.

#### Europallet (EPAL/EUR 1)

El europallet, también conocido como europallet (EPAL) o EUR 1, es el estándar predominante en Europa y uno de los sistemas de pallets más difundidos a nivel mundial. Sus dimensiones exactas son 1200 mm de longitud × 800 mm de anchura × 144 mm de altura, con una superficie de 0.96 m<sup>2</sup>.

#### Características técnicas del Europallet:

- **Capacidad de carga dinámica:** 1500 kg (durante el movimiento).
- **Capacidad de carga estática:** Hasta 4000 kg (en reposo sobre superficie plana).
- **Capacidad de carga en estantería:** Aproximadamente 1000 kg
- **Peso unitario:** Entre 20 y 29 kg, dependiendo de la humedad del material.
- **Construcción:** 11 tablones superiores, 9 tacos de madera y clavos especiales según especificaciones EPAL.
- **Acceso:** 4 vías de entrada para montacargas y transpaletas.

La europalette está sujeta a estrictos controles de calidad por parte de la European Pallet Association (EPAL), que certifica la conformidad con las especificaciones de construcción y otorga licencias a los fabricantes. Cada pallet autorizado lleva estampado el logotipo "EUR" y el código de identificación del fabricante, garantizando su trazabilidad.

### **Estándar norteamericano (GMA Pallet)**

El pallet estándar norteamericano, conocido como GMA pallet por sus siglas en inglés (Grocery Manufacturers Association), es el más utilizado en Estados Unidos y Canadá. Sus dimensiones nominales son 1219 mm × 1016 mm (equivalente a 48 pulgadas × 40 pulgadas), con una superficie de aproximadamente 1.24 m<sup>2</sup>.

La principal diferencia con el Europallet radica en su anchura: 216 mm más ancho, lo que proporciona mayor estabilidad lateral, especialmente ventajosa para el transporte de líquidos y cargas inestables. Este pallet está normalizado bajo ISO 3676 y es ampliamente utilizado en las industrias de alimentos, bebidas y bienes de consumo en Norteamérica.

### **Otros formatos estándar**

El sistema de pallets europeo incluye otros formatos normalizados para aplicaciones específicas:

- **EUR 2 (1200 × 1000 mm):** Común en el Reino Unido y en industrias que manejan líquidos y cargas a granel, donde este formato se alinea mejor con los patrones de empaque.
- **EUR 3 (1000 × 1200 mm):** Orientación rotada del EUR 2, utilizado cuando la orientación de la carga, el tamaño del pasillo de estanterías o los patrones de carga en camión hacen preferible el lado de 1000 mm como ancho.
- **EUR 6 (800 × 600 mm):** Conocido como "media paleta", utilizado para cantidades más pequeñas, paquetes promocionales o en espacios reducidos en puntos de venta.
- **Formatos de exhibición:** 600 × 400 mm y 400 × 300 mm, utilizados para presentación en tiendas y unidades de exhibición.

## Materiales de fabricación

Aunque la madera sigue siendo el material predominante en la fabricación de pallets, existen alternativas con aplicaciones específicas:

| Material                   | Ventajas                                            | Desventajas                                               | Aplicaciones típicas                |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Madera<br>(pino, abeto)    | Bajo costo inicial, reparabilidad, disponibilidad   | Susceptible a humedad, requiere tratamiento fitosanitario | Uso general, sistema de agrupación  |
| Plástico<br>(HDPE, PP)     | Higiénico, lavable, resistente a químicos, duradero | Mayor costo inicial, menos reparabilidad                  | Industria alimentaria, farmacéutica |
| Metal<br>(acero, aluminio) | Máxima resistencia, durabilidad extrema             | Peso elevado, costo alto, corrosión                       | Automotriz, carga pesada            |
| Madera tratada             | Resistente a humedad, durabilidad mejorada          | Costo medio                                               | Exportación, ambientes húmedos      |

Tratamiento fitosanitario (ISPM 15): Para la exportación internacional, todos los pallets de madera deben cumplir con la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias No. 15 (ISPM 15), que requiere un tratamiento térmico (Heat Treatment [HT]) que eleva la temperatura del núcleo de la madera a 56°C durante al menos 30 minutos para eliminar plagas. Los pallets tratados llevan estampado el código "HT", que certifica su conformidad para el comercio internacional.

## Sistema de intercambio de Pallets

El sistema de pooling (intercambio) de pallets constituye un modelo de gestión circular que optimiza el uso de estos activos. Bajo este sistema, los pallets EPAL tienen un valor de depósito (aproximadamente 10-20 € por unidad) y circulan entre diferentes empresas, que registran las entradas y salidas en cuentas de pallets.

Las empresas pueden participar en el sistema mediante:

- **Compra directa:** Adquisición de pallets nuevos o usados.
- **Pooling gestionado:** Operadores como EPAL gestionan el intercambio y reparación.

- **Alquiler:** Modelo de pago por uso, incluyendo logística de retorno.

### 3.4 Contenedores intermodales

Los contenedores intermodales representan la evolución de la unitarización a escala macro, constituyendo el estándar global para el transporte multimodal de mercancías. Su diseño modular permite la transferencia fluida entre buques, trenes y camiones, con interfaces de sujeción estandarizadas universalmente.

#### Tipos de contenedores ISO

La clasificación más común de contenedores responde a la norma ISO 668, que establece las dimensiones externas e internas de los contenedores de la Serie 1.

**Tabla 3.2.** *Dimensiones estándar de contenedores ISO (Serie 1).*

| Tipo de contenedor | Longitud interna | Anchura interna | Altura interna | Capacidad (m <sup>3</sup> ) | Peso máximo bruto |
|--------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------------------|-------------------|
| 20ft Standard      | 5.898 m          | 2.352 m         | 2.385 m        | 33.2 m <sup>3</sup>         | 30 480 kg         |
| 40ft Standard      | 12.032 m         | 2.352 m         | 2.385 m        | 67.7 m <sup>3</sup>         | 30 480 kg         |
| 40ft High Cube     | 12.032 m         | 2.352 m         | 2.385 m        | 76.4 m <sup>3</sup>         | 30 480 kg         |
| 45ft High Cube     | 13.556 m         | 2.352 m         | 2.385 m        | 86.0 m <sup>3</sup>         | 30 000 kg         |

**Contenedor High Cube:** Con una altura adicional de 30 cm (2.698 m frente a 2.385 m del estándar), el contenedor High Cube permite un 25 % más de volumen. Esta configuración es especialmente ventajosa para cargas ligeras de gran volumen y posibilita el doble apilamiento de pallets en operaciones de carga ligera.

**Contenedores de pallets anchos (Pallet Wide):** Variante de contenedor con 11 cm adicionales de anchura (2.45 m interno), que permite cargar hasta 30 europalets en un contenedor de 40 pies, en comparación con los 24 de un contenedor estándar, representando un incremento de capacidad del 25 %.

## Optimización de carga en contenedores

La eficiencia en la carga de contenedores depende críticamente de la compatibilidad entre las dimensiones de las unidades de carga y las dimensiones internas del contenedor.

### Capacidad de pallets por contenedor:

| Tipo de contenedor      | Europalets<br>(800×1200 mm)                   | Pallets ISO<br>(1000×1200 mm) | Pallets GMA<br>(40"×48") |
|-------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| <i>20ft Standard</i>    | 10-11                                         | 10                            | 11                       |
| <i>40ft Standard</i>    | 23-24                                         | 20-22                         | 22-24                    |
| <i>40ft High Cube</i>   | 23-24 (simple) / hasta 48 (doble apilamiento) | 20-22                         | 22-24                    |
| <i>Pallet Wide 40ft</i> | 30                                            | 24-26                         | 24-26                    |

### Distribución de peso para estabilidad:

- Carga del 40 % en la parte delantera y 60 % en la parte trasera para estabilidad óptima.
- Apilamiento de cargas ligeras (<500 kg por pallet) en doble nivel.
- Apilamiento simple para cargas pesadas (>1000 kg por pallet).

## 3.5 Cajas, empaques y unitarización secundaria

La unitarización se organiza en niveles jerárquicos que responden a las necesidades de protección, manipulación y comercialización.

### Niveles de unitarización

| Nivel      | Denominación       | Función                                        | Ejemplos                          |
|------------|--------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Primario   | Empaque primario   | Contacto directo con el producto, conservación | Blíster, bolsa, envase individual |
| Secundario | Empaque secundario | Agrupación de unidades primarias, presentación | Caja de cartón, display, bandeja  |
| Terciario  | Unidad de carga    | Consolidación para transporte y almacenaje     | Pallet, contenedor                |

## Euroboxes y sistemas modulares

Las euroboxes (cajas europeas) constituyen un sistema de contenedores modulares diseñados específicamente para ser compatibles con las dimensiones de los pallets estándar. El módulo base ( $600 \times 400$  mm) permite un apilamiento eficiente en pallets de  $1200 \times 800$  mm, maximizando la utilización del espacio.

### Ventajas de los sistemas modulares:

- Optimización del espacio en pallets y contenedores
- Apilamiento estable y seguro
- Compatibilidad con sistemas automatizados
- Estandarización de procesos de *picking*

## Empaques inteligentes

La evolución de los empaques hacia sistemas inteligentes incorpora tecnologías que transforman las unidades de carga en nodos activos de la cadena de suministro digital:

- **RFID (Radio Frequency Identification):** Permite la identificación automática y la trazabilidad sin línea de visión directa.
- **Sensores de condición:** Monitorización de temperatura, humedad y golpes durante el tránsito.
- **Indicadores de tiempo-temperatura:** Esenciales para cadenas de frío.
- **Sellos electrónicos:** Seguridad y detección de aperturas no autorizadas.

### 3.6 Impacto de la unitarización en la eficiencia

La unitarización genera impactos cuantificables en los principales indicadores de desempeño logístico. A continuación, se presentan las mejoras documentadas en la literatura especializada.

**Tabla 3.3:** *Impacto de la unitarización en indicadores de eficiencia.*

| Indicador                           | Operación con carga suelta | Operación con carga unitarizada | Mejora documentada                    |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Tiempo de carga/descarga por unidad | 1.0 min por caja           | 2.0 min por pallet (20 cajas)   | Reducción del 90 % en tiempo por caja |

**Tabla 3.3:** Impacto de la unitarización en indicadores de eficiencia.

| Indicador                         | Operación con carga suelta | Operación con carga unitarizada | Mejora documentada               |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Número de manipulaciones          | 1 por caja                 | 1 por pallet                    | Reducción de 20:1 a 50:1         |
| Daños en tránsito                 | 3-5 %                      | 0.5-1.5 %                       | Reducción del 50-70 %            |
| Utilización de espacio en almacén | 40-50 %                    | 75-85 %                         | Aumento del 50-70 %              |
| Productividad de picking          | 60-80 líneas/hora          | 150-300 unidades/hora           | Aumento del 100-300 %            |
| Precisión de inventario           | 90-95 %                    | 99-99.5 %                       | Reducción de errores del 80-90 % |

**Beneficios económicos de la unitarización:**

- Reducción de costos logísticos totales del 15-25 % en operaciones optimizadas
- Disminución del 20-30 % en requerimientos de espacio de almacenamiento
- Reducción de mano de obra directa del 30-50 % en procesos de carga/descarga
- Incremento de la capacidad de transporte del 20-30 % mediante optimización de espacios

**Beneficios operativos:**

- Mayor velocidad de respuesta ante pedidos urgentes
- Reducción de tiempos de ciclo de pedido
- Facilitación de la automatización de procesos
- Mejora de la ergonomía al reducir el manejo manual

**3.7 Conclusiones de la sección**

El dominio de la terminología y los sistemas de unitarización constituye un requisito fundamental para los profesionales del manejo de materiales. La estandarización de pallets, contenedores y empaques no es una mera conveniencia operativa, sino un facilitador crítico de eficiencia, interope-



rabilidad global y competitividad en la cadena de suministro.

La unitarización transforma radicalmente la economía del manejo de materiales, reduciendo el número de manipulaciones, optimizando la utilización de espacio y tiempo, y posibilitando la implementación de tecnologías automatizadas. Las inversiones en sistemas de unitarización adecuados generan retornos cuantificables a través de múltiples dimensiones: reducción de costos laborales, disminución de daños, mejora de la productividad y mayor precisión operativa.

La evolución hacia unidades de carga inteligentes y sostenibles refleja la creciente complejidad de las cadenas de suministro modernas, donde la visibilidad, la protección de producto y la eficiencia de recursos deben equilibrarse estratégicamente. La selección correcta de la unidad de carga —considerando dimensiones, material, capacidad de carga y compatibilidad con los sistemas de la cadena de suministro— constituye una decisión estratégica que impacta en la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones logísticas.



# II

---

## **Tecnologías y equipos para el manejo de materiales**

## Introducción

La materialización de los principios conceptuales del manejo de materiales se logra a través de la correcta selección, implementación y operación de una amplia gama de tecnologías y equipos. Este capítulo se dedica a examinar de manera sistemática las herramientas que hacen posible el movimiento, elevación, almacenamiento y control de materiales, constituyendo el componente tangible y visible de cualquier sistema logístico. La elección adecuada de estos elementos no es meramente técnica; es una decisión estratégica que impacta directamente en la flexibilidad, capacidad, costos y eficiencia energética de toda la operación.

Se inicia con una clasificación exhaustiva de los equipos, distinguiendo entre aquellos de movimiento horizontal (como transportadores y vehículos guiados), movimiento vertical (como montacargas y apiladores) y los que integran ambos tipos de movimiento (como las grúas horquillas). Se analizan sus características técnicas, aplicaciones típicas y criterios de selección en contextos industriales y de distribución específicos.

Posteriormente, el capítulo se enfoca en los sistemas de almacenamiento, desde las estanterías convencionales hasta los sistemas automatizados de alta densidad (AS/RS, estanterías móviles), detallando su diseño, ventajas comparativas y la optimización del espacio que proveen. Finalmente, se exploran las tecnologías de identificación, captura y control (códigos de barras, RFID y sistemas de visión artificial), que actúan como el sistema nervioso del manejo moderno de materiales, permitiendo la visibilidad, precisión y trazabilidad en tiempo real de los productos a lo largo de la cadena de suministro.

El dominio del contenido de este capítulo es fundamental para cualquier profesional que aspire a diseñar, gestionar o modernizar instalaciones productivas y logísticas, ya que proporciona el conocimiento necesario para evaluar alternativas tecnológicas de manera informada y alinearlas con los objetivos estratégicos de la organización.

# Capítulo 4

---

## **Equipos para el movimiento de materiales**

## 1.1 Introducción a la clasificación de equipos de movimiento

El movimiento de materiales constituye el corazón de las operaciones logísticas e industriales. Los equipos destinados a esta función abarcan un espectro que va desde las herramientas manuales más simples hasta los sistemas automatizados de alta complejidad. La correcta selección de estos equipos no solo determina la eficiencia operativa, sino que impacta directamente en la seguridad de los trabajadores, la integridad de los productos y los costos totales de operación.

La clasificación tradicional de los equipos de movimiento responde a dos criterios fundamentales: el tipo de fuente de energía empleada (manual o motorizada) y el grado de autonomía operativa (convencional o automatizada). En esta sección se abordarán de manera sistemática los equipos sin motor, aquellos con motor para el movimiento de cargas unitarizadas y los equipos especializados para la formación de unidades de carga.

**Los equipos de movimiento se pueden categorizar en tres grandes grupos según su fuente de energía y nivel de sofisticación:**

| Categoría              | Fuente de Energía                   | Intervención Humana            | Aplicación Típica                                               |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Manual (sin motor)     | Esfuerzo humano                     | Continua                       | Cargas livianas, distancias cortas, operaciones de bajo volumen |
| Mecanizado (con motor) | Eléctrica o combustión              | Operador a bordo o acompañante | Cargas medianas a pesadas, operaciones de volumen medio a alto  |
| Automatizado           | Eléctrica con control computarizado | Mínima o nula                  | Flujos continuos, alta repetitividad, operaciones 24/7          |

## 1.2 Equipos sin motor (manuales)

Los equipos sin motor constituyen la categoría más básica de herramientas para el movimiento de materiales. Su operación depende completamente del esfuerzo humano, ya sea mediante empuje, tracción o manipulación directa. A pesar de su simplicidad, estos equipos siguen siendo ampliamente utilizados en operaciones de bajo volumen, espacios reducidos y aplicaciones donde la flexibilidad es prioritaria.

### Carros manuales

Los carros manuales, también conocidos como *hand trucks* o *utility carts*, son plataformas con ruedas diseñadas para el transporte de cargas livianas a moderadas. Se caracterizan por su simplicidad constructiva y su versatilidad operativa.

**Carros de dos ruedas (diablos):** Estos equipos consisten en una estructura metálica con dos ruedas en la base y una plataforma o soporte para la carga. El operador inclina el equipo hacia atrás para levantar parcialmente la carga y luego lo desplaza mediante tracción o empuje. Su capacidad típica oscila entre 150 y 300 kg, siendo ideales para el movimiento de cajas, tambores y electrodomésticos en espacios reducidos.

**Carros de plataforma (de cuatro ruedas):** Equipados con cuatro ruedas giratorias (al menos dos de ellas con dirección), estos carros permiten el transporte de cargas sobre una superficie plana sin necesidad de inclinación. Se utilizan comúnmente en almacenes, tiendas y áreas de producción para mover cajas, contenedores y materiales diversos. Sus capacidades varían desde 200 kg hasta más de 1000 kg en versiones industriales.

**Carros especializados:** Existen variantes diseñadas para aplicaciones específicas, como carros para bobinas (con soportes en "V"), carros para vidrios (con respaldo acolchado y correas de sujeción) y carros de picking (con múltiples niveles para la preparación de pedidos).

## Transpaletas manuales (Patines hidráulicos)

La transpaleta manual, también conocida como patín hidráulico o *pallet jack*, es el equipo sin motor más utilizado en operaciones de almacenamiento y distribución. Su diseño incorpora un mecanismo hidráulico que permite elevar la carga unos centímetros del suelo para facilitar su desplazamiento.

**Componentes y operación:** Una transpaleta manual consta de dos horquillas paralelas (*forks*) que se insertan en las aberturas de un pallet, una bomba hidráulica accionada mediante un manubrio y un sistema de ruedas que incluye ruedas de carga en las horquillas y ruedas de dirección en el manubrio. El operador bombea el manubrio para elevar la carga, desplaza el equipo mediante tracción o empuje y acciona una válvula de descenso para depositar la carga.

**Capacidades y aplicaciones:** Las transpaletas manuales estándar tienen capacidades nominales entre 2000 y 3000 kg, aunque existen versiones de alta capacidad que alcanzan 5000 kg. Su longitud de horquillas típica es de 1150 mm, compatible con pallets de 1200 × 1000 mm y europallets de 1200 × 800 mm.

**Ventajas y limitaciones:** Su principal ventaja radica en su bajo costo inicial, su mantenimiento sencillo y su capacidad para operar en espacios reducidos. Sin embargo, su velocidad de desplazamiento es limitada (aproximadamente 1 m/s) y el esfuerzo requerido aumenta significativamente con cargas cercanas a la capacidad máxima. Adicionalmente, no permiten el apilamiento de cargas, limitándose al movimiento horizontal.

## Grúas horquillas manuales

Las grúas horquillas manuales, menos comunes que las transpaletas, son equipos diseñados para el levantamiento vertical de cargas mediante mecanismos de tornillo o sistema hidráulico manual. Su aplicación principal se encuentra en talleres de mantenimiento, almacenes de repuestos y áreas donde se requiere elevar cargas moderadas sin disponer de equipos motorizados.

Estos equipos suelen tener capacidades entre 500 y 2000 kg y alturas de elevación que varían desde 1.5 hasta 3.5 metros. Su operación requiere un



esfuerzo físico considerable y suelen ser reemplazados por montacargas manuales o equipos motorizados en operaciones de mayor intensidad.

**Tabla 1.1.** *Comparativa de equipos de movimiento sin motor.*

| Tipo de Equipo        | Capacidad Típica (kg) | Velocidad Operativa  | Aplicación Principal                   | Ventajas                                    | Limitaciones                             |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| Carro de dos ruedas   | 150 - 300             | Baja                 | Movimiento de cajas, electrodomésticos | Bajo costo, muy manio-brable                | Capacidad limitada, requiere inclinación |
| Carro de plataforma   | 200 - 1000            | Baja a media         | Transporte general de carga unitizada  | Superficie plana, múltiples configuraciones | Ocupa más espacio, sin elevación         |
| Transpalette manual   | 2000 - 3000           | Baja (0.5 - 1.0 m/s) | Movimiento de pallets en almacenes     | Estándar universal, bajo costo              | Solo elevación limitada, esfuerzo físico |
| Grúa horquilla manual | 500 - 2000            | Muy baja             | Levantamiento ocasional en taller      | Elevación vertical, sin energía externa     | Esfuerzo intenso, baja productividad     |

### 1.3 Equipos con motor

Los equipos con motor, también denominados equipos mecanizados o *industrial trucks*, constituyen la columna vertebral de las operaciones de movimiento de materiales en instalaciones de mediano y alto volumen. Su principal ventaja radica en la capacidad de mover cargas pesadas con un esfuerzo mínimo del operador, incrementando significativamente la productividad y reduciendo los riesgos de lesiones musculoesqueléticas asociados al manejo manual.

#### Montacargas (*Forklifts*)

El montacargas, también conocido como *forklift* o carretilla elevadora, es el equipo motorizado más versátil y ampliamente utilizado en el manejo de materiales. Se caracteriza por su capacidad de elevar y transportar cargas unitizadas sobre pallets, así como de apilarlas en estanterías a diferentes alturas.

### Clasificación por fuente de energía

Los montacargas se clasifican fundamentalmente por el tipo de energía que utilizan, determinando sus aplicaciones, costos operativos y requisitos de infraestructura.

**Montacargas eléctricos:** Alimentados por baterías de tracción (generalmente de plomo-ácido o de ion-litio), estos equipos son los preferidos en operaciones indoor debido a su operación silenciosa y nula emisión de gases contaminantes. Sus características incluyen:

- **Autonomía:** Entre 6 y 8 horas de operación continua con una carga completa de batería.
- **Capacidades:** Desde 1500 kg hasta 5000 kg en modelos estándar
- **Ventajas:** Operación limpia y silenciosa, bajos costos de energía, mantenimiento relativamente simple.
- **Limitaciones:** Requiere infraestructura de carga de baterías, menor capacidad para operación continua en múltiples turnos sin baterías de repuesto.

**Montacargas de combustión interna:** Utilizan motores que operan con gas LP (propano), diésel o gasolina. Son la opción predominante en aplicaciones outdoor y en operaciones que requieren alta disponibilidad y potencia continua.

| Combustible | Ventajas                                                                 | Limitaciones                                | Aplicación Típica                                               |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Gas LP      | Emisiones moderadas, fácil repostaje, operación interior con ventilación | Mayor costo de combustible que eléctrico    | Almacenes techados con ventilación, uso mixto interior/exterior |
| Diesel      | Alto torque, eficiencia energética, durabilidad                          | Emisiones significativas, solo uso exterior | Patios de contenedores, construcción, puertos                   |
| Gasolina    | Menor costo inicial, amplia disponibilidad                               | Alto consumo, emisiones                     | Operaciones ocasionales, flotas mixtas                          |

## Clasificación por configuración y aplicación

Además de la fuente de energía, los montacargas se diferencian por su configuración mecánica, que determina su capacidad de maniobra y sus aplicaciones específicas.

**Montacargas contrapesados (counterbalanced):** Es la configuración más común. El principio de funcionamiento se basa en el equilibrio: el peso del vehículo (y del contrapeso ubicado en la parte trasera) contrarresta el peso de la carga en las horquillas. Las ruedas delanteras actúan como punto de apoyo (fulcro). Su principal ventaja es la versatilidad, permitiendo operar en diversos entornos sin requerir elementos de soporte adicionales.

**Montacargas de mástil retráctil (reach trucks):** Diseñados específicamente para operar en pasillos estrechos (*narrow aisles*), estos equipos incorporan un mecanismo que permite extender las horquillas hacia adelante para alcanzar posiciones de almacenamiento profundas, mientras que el cuerpo del equipo permanece en el pasillo. Sus características incluyen:

- **Ancho de pasillo requerido:** 2.7 a 3.2 metros
- **Altura de elevación:** Hasta 12 metros
- **Capacidad típica:** 1000 a 2500 kg
- **Configuración:** Operador de pie (*stand-up*), con protecciones laterales

**Montacargas de pasillo muy estrecho (Very Narrow Aisle [VNA]):** Equipos especializados que operan en pasillos con anchos inferiores a 2.0 metros. Pueden ser de dos tipos principales:

- **Bilaterales:** Las horquillas pueden orientarse hacia la izquierda o derecha, pero no rotan 180 grados.
- **Tricloriales (turret trucks):** El mástil y las horquillas pueden rotar 180 grados, permitiendo trabajar en ambos lados del pasillo sin que el equipo gire.

Estos equipos pueden ser operados desde una cabina que se eleva junto con la carga (*man-down*) o desde una cabina fija con el operador en el suelo, utilizando sistemas de visión asistida para alcanzar las alturas superiores.

**Montacargas laterales (side loaders):** Diseñados para el manejo de cargas largas (tubos, perfiles, madera, acero), estos equipos transportan la carga paralela al sentido de desplazamiento, apoyada sobre una pla-

taforma lateral. Esta configuración permite el transporte de piezas de hasta 15 metros de longitud dentro de pasillos relativamente estrechos.

**Tabla 1.2.** *Comparativa de montacargas por configuración.*

| Tipo                  | Ancho de Pasillo | Altura Máxima | Capacidad (kg) | Aplicación principal                         |
|-----------------------|------------------|---------------|----------------|----------------------------------------------|
| Contrapesado          | 3.5 - 4.5 m      | 6 - 8 m       | 1500 - 5000    | Operación versátil, carga/descarga           |
| Camión Retractil      | 2.7 - 3.2 m      | 10 - 12 m     | 1000 - 2000    | Almacenamiento en altura, pasillos estrechos |
| VNA ( <i>turret</i> ) | 1.6 - 2.0 m      | 12 - 15 m     | 800 - 1500     | Máxima densidad de almacenamiento            |
| <i>Side Loader</i>    | 3.0 - 4.0 m      | 6 - 10 m      | 2000 - 10 000  | Cargas largas (tubos, perfiles)              |

## Ordenadores (*Order Pickers*)

Los ordenadores, también conocidos como preparadores de pedidos u *order pickers*, son equipos motorizados diseñados específicamente para la preparación de pedidos a nivel de unidad o caja, permitiendo que el operador acceda directamente a las ubicaciones de almacenamiento.

**Configuración y operación:** Estos equipos cuentan con una plataforma elevadora en la que el operador se desplaza junto con la carga, controla el desplazamiento horizontal del equipo y la elevación vertical de la plataforma, pudiendo alcanzar alturas de hasta 12 metros para seleccionar productos directamente desde las estanterías.

### Características distintivas:

- **Altura de elevación:** 6 a 12 metros, dependiendo del modelo
- **Capacidad de carga:** 500 a 1500 kg (principalmente la del operador y el pedido).
- **Velocidad de desplazamiento:** Reducida en altura, incrementada a nivel del suelo.
- **Sistemas de seguridad:** Barreras de protección, sistemas anti-colisión, sensores de presencia.

**Aplicaciones:** Los ordenadores son indispensables en operaciones de picking de baja y media unidad (casos de e-commerce, farmacia, repuestos) donde se requiere acceso directo a productos almacenados en racks de altura. En operaciones de alto volumen, suelen complementarse con sistemas de *picking* por voz o *pick-to-light* para maximizar la productividad.

## Transpaletas motorizadas (**Powered Pallet Trucks**)

Las transpaletas motorizadas constituyen un puente entre los equipos manuales y los montacargas, ofreciendo la simplicidad operativa de una transpaleta con la asistencia de potencia para el desplazamiento y la elevación.

### Configuraciones:

- **Walkie (operador acompañante):** El operador camina junto al equipo, controlando el desplazamiento mediante un manubrio. Ideal para distancias cortas a medias.
- **Rider (operador a bordo):** Incorpora una plataforma en la que el operador se desplaza de pie, permitiendo mayores velocidades y distancias.
- **Stacker (apilador):** Versión con mástil elevador que permite el apilamiento de pallets en estanterías de baja a media altura (hasta 5-6 metros).

**Ventajas comparativas:** Las transpaletas motorizadas ofrecen una alternativa de menor costo frente a los montacargas completos, con menor requerimiento de ancho de pasillo y una curva de aprendizaje más rápida para los operadores. Sin embargo, su capacidad de elevación y versatilidad es inferior.

## 1.4 Equipos para unitarización

La unitarización, como se estableció en la "Sección 1.3", es el proceso de consolidar productos individuales en unidades de carga manejables. Los equipos de unitarización son aquellos que facilitan la formación, envoltura y aseguramiento de estas cargas unitarias.

## Enfardadoras (*Stretch Wrappers*)

Las enfardadoras, también conocidas como envolvedoras de película estirable o *stretch wrappers*, son equipos diseñados para aplicar una o múltiples capas de película plástica estirable alrededor de una carga paletizada, garantizando su estabilidad durante el almacenamiento y transporte.

### Clasificación por nivel de automatización

| Tipo                               | Operación                                                            | Velocidad           | Aplicación                            |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Manual<br>(hand wrapper)           | Operador gira alrededor del pallet aplicando la película             | 10-20 pallets/hora  | Bajo volumen, operaciones esporádicas |
| Semiautomática de mástil rotatorio | El operador coloca la película y el equipo gira alrededor del pallet | 20-40 pallets/hora  | Volumen medio, flexibilidad operativa |
| Semiautomática de anillo rotatorio | El pallet permanece estático mientras un anillo con la película gira | 30-50 pallets/hora  | Alta velocidad, cargas inestables     |
| Automática (conveyorizada)         | Integrada en línea de producción, operación sin intervención humana  | 60-120 pallets/hora | Alto volumen, flujo continuo          |

**Parámetros de operación:** Las enfardadoras permiten ajustar múltiples parámetros para adaptar el envoltorio a las características de la carga:

- **Número de capas:** 2 a 6 capas típicamente, más en cargas inestables.
- **Tensión de la película:** Ajustable según fragilidad de la carga.
- **Cobertura:** Envoltura completa o parcial (espiral).
- **Sistema de preestirado:** Mecánico o eléctrico, permite reducir el consumo de película entre un 30 % y un 60 %.

## Encorchadoras (*Strapping Machines*)

Las encorchadoras, también conocidas como flejadoras o strapping machines, son equipos que aplican flejes (cintas de poliéster, polipropileno o acero) alrededor de una carga unitaria para asegurar su integridad. A diferencia del envoltorio continuo de las enfardadoras, el flejado proporciona sujeción puntual en uno o múltiples ejes.

### *Clasificación por nivel de automatización*

- **Flejadoras manuales:** El operador coloca manualmente el fleje alrededor de la carga, lo tensa y lo sella utilizando herramientas portátiles. Adecuadas para bajo volumen y cargas de geometría irregular.
- **Flejadoras semiautomáticas (mesa):** La carga se coloca sobre la mesa de la máquina, que aplica el fleje automáticamente en el eje horizontal. Requiere rotación manual de la carga para flejado múltiple.
- **Flejadoras automáticas (conveyorizadas):** Integradas en líneas de producción, aplican flejes en uno o múltiples ejes de manera automática, sincronizadas con el flujo de cargas.

### *Tipos de fleje según material*

| Material           | Resistencia a la tracción | Aplicación                                        | Ventajas                                    |
|--------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Polipropileno (PP) | Baja a media              | Cargas ligeras, aplicaciones de retail            | Bajo costo, fácil manejo                    |
| Poliéster (PET)    | Media a alta              | Cargas pesadas, exportación                       | Resistencia similar al acero, peso reducido |
| Acero              | Muy alta                  | Cargas extremadamente pesadas o con aristas vivas | Máxima resistencia, protección contra corte |

## Equipos complementarios de unitarización

Además de las enfardadoras y encorchadoras, existen otros equipos que apoyan la formación de unidades de carga:

**Paletizadoras:** Equipos que colocan automáticamente productos (cajas, sacos y bidones) sobre un pallet siguiendo un patrón predeterminado. Pueden ser de varios tipos :

- **Paletizadoras convencionales (de columna):** Apilan capas completas de producto mediante sistemas de transferencia.
- **Paletizadoras robóticas:** Utilizan brazos robóticos para posicionar productos con alta flexibilidad.
- **Paletizadoras mixtas:** Diseñadas para cargas heterogéneas, comunes en centros de distribución de e-commerce.

**Despaletizadoras:** Equipos que realizan la función inversa, retirando productos de un pallet para su ingreso a líneas de producción o clasificación.

## 1.5 Selección de Equipos: Criterios y Consideraciones

La selección adecuada de equipos de movimiento y unitarización requiere un análisis sistemático que considere múltiples factores interrelacionados.

### *Factores determinantes en la selección*

| Factor                       | Consideraciones                                              | Impacto en la Selección                                       |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Características de la carga  | Peso, dimensiones, fragilidad, tipo de unitarización         | Determina capacidad, tipo de horquillas, accesorios           |
| Volumen de operación         | Pallets/hora, movimientos por turno                          | Define nivel de automatización y número de equipos            |
| Infraestructura existente    | Ancho de pasillos, altura de almacenamiento, tipo de piso    | Condiciona tipo de equipo ( <i>reach</i> , VNA, contrapesado) |
| Entorno operativo            | Interior/exterior, temperatura, presencia de polvo o humedad | Define fuente de energía (eléctrico vs. combustión)           |
| Disponibilidad de operadores | Capacitación, experiencia, rotación                          | Afecta curva de aprendizaje y requerimientos de seguridad     |
| Costos                       | Inversión inicial, mantenimiento, energía, vida útil         | Análisis de costo total de propiedad (TCO)                    |



## Proceso de selección sistemático

1. **Análisis del flujo de materiales:** Identificar los movimientos requeridos, frecuencias y distancias involucradas.
2. **Caracterización de cargas:** Determinar rangos de peso, dimensiones, tipo de pallet y requisitos de estabilidad.
3. **Evaluación de infraestructura:** Medir anchos de pasillos, alturas de almacenamiento, capacidad de piso y accesos.
4. **Definición de requerimientos operativos:** Establecer productividad objetivo (ciclos/hora), disponibilidad requerida y turnos de operación.
5. **Análisis de alternativas tecnológicas:** Comparar opciones (manual vs. motorizado, eléctrico vs. combustión, convencional vs. VNA).
6. **Evaluación económica:** Calcular costo total de propiedad, período de recuperación e impacto en productividad.

## 1.6 Tablas de Síntesis

**Tabla 1.3.** *Clasificación integral de equipos para movimiento de materiales.*

| Categoría                  | Subcategoría             | Equipos Representativos                   | Capacidad Típica      | Aplicación Principal                 |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| Sin motor                  | Carros manuales          | Diablos, carros de plataforma             | 150 - 1000 kg         | Movimiento de cajas, cargas livianas |
|                            | Transpaletas manuales    | Patines hidráulicos                       | 2000 - 3000 kg        | Movimiento horizontal de pallets     |
|                            | Grúas manuales           | Grúas de taller, polipastos               | 500 - 2000 kg         | Levantamiento ocasional              |
| Con motor - Montacargas    | Eléctricos               | Contrapesados, reach trucks, trilaterales | 1500 - 5000 kg        | Operación indoor, almacenes          |
|                            | Combustión interna       | Contrapesados LP, diésel, gasolina        | 2000 - 10 000 kg      | Patios, exteriores, carga pesada     |
| Con motor - Especializados | Ordenadores              | Order pickers de altura                   | 500 - 1500 kg         | Preparación de pedidos unitarios     |
|                            | Transpaletas motorizadas | Walkie, rider, stacker                    | 1500 - 3000 kg        | Movimiento horizontal con asistencia |
| Unitarización              | Enfardadoras             | Manual, semiautomática, automática        | 10 - 120 pallets/hora | Envoltura de cargas paletizadas      |

| Categoría     | Subcategoría  | Equipos Representativos            | Capacidad Típica       | Aplicación Principal            |
|---------------|---------------|------------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| Unitarización | Encorchadoras | Manual, semiautomática, automática | Variable               | Flejado de cargas unitarias     |
|               | Paletizadoras | Convencional, robótica             | Hasta 2000 ciclos/hora | Formación automática de pallets |

**Tabla 1.4.** Criterios de selección según tipo de operación.

| Tipo de Operación                             | Equipo Recomendado                                         | Justificación                                            |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Almacén de baja altura (<6 m), volumen medio  | Montacargas contrapesado eléctrico                         | Versatilidad, operación limpia, costo razonable          |
| Almacén de alta densidad (>10 m)              | Reach truck o VNA turret                                   | Maximización de espacio, pasillos estrechos              |
| Preparación de pedidos unitarios (e-commerce) | Order picker + transpaleta manual/motorizada               | Acceso directo a productos, picking eficiente            |
| Patio de contenedores, exterior               | Montacargas diésel o LP                                    | Potencia continua, resistencia a condiciones ambientales |
| Cargas largas (tubos, perfiles)               | Side loader                                                | Capacidad específica para cargas de gran longitud        |
| Alto volumen de pallets, flujo continuo       | Transpaletas motorizadas (rider) + paletizadora automática | Máxima productividad en movimientos repetitivos          |
| Operación mixta (bajo volumen, alta variedad) | Transpaletas manuales + un montacargas contrapesado        | Flexibilidad, bajo costo para operaciones ocasionales    |

El universo de equipos para el movimiento de materiales abarca desde las herramientas manuales más simples hasta los sistemas automatizados de alta sofisticación. La comprensión de las características, capacidades y aplicaciones de cada tipo de equipo constituye una competencia fundamental para el profesional del manejo de materiales.

Los equipos sin motor, aunque limitados en capacidad y velocidad, mantienen su relevancia en operaciones de bajo volumen, espacios reducidos y aplicaciones donde la flexibilidad es prioritaria. Las transpaletas manuales, en particular, siguen siendo el estándar universal para el movimiento horizontal de pallets en almacenes de todo tipo.

Los montacargas motorizados representan la categoría más versátil y ampliamente utilizada, con configuraciones que abarcan desde equipos contrapesados de uso general hasta soluciones especializadas para pasillos extremadamente estrechos (VNA) o cargas de gran longitud (side loaders). La selección entre equipos eléctricos y de combustión interna debe basarse en un análisis cuidadoso del entorno operativo, los requerimientos de autonomía y los costos de energía y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida.

Finalmente, los equipos de unitarización —enfardadoras, encorchadoras y paletizadoras— cumplen un rol crítico en la formación de unidades de carga estables y seguras, condición necesaria para la eficiencia de todas las operaciones posteriores de movimiento y almacenamiento.

La correcta selección de equipos requiere un enfoque sistemático que considere las características de las cargas, los volúmenes de operación, la infraestructura existente y los costos totales de propiedad. Un error en esta selección puede comprometer la eficiencia de toda la operación logística y generar costos evitables a lo largo de la vida útil de los equipos.



# Capítulo 5

---

## Sistemas de almacenamiento

## **2.1 Introducción a los sistemas de almacenamiento**

El almacenamiento constituye una función crítica dentro del manejo de materiales, actuando como el punto de equilibrio entre los flujos de entrada y salida en la cadena de suministro. Los sistemas de almacenamiento no son meros espacios pasivos donde los productos aguardan su destino; por el contrario, representan infraestructuras activas cuyo diseño determina la eficiencia de las operaciones de recepción, preparación de pedidos y despacho. La selección del sistema de almacenamiento adecuado impacta directamente en la utilización del espacio, la accesibilidad a los productos, la productividad del personal y la capacidad de respuesta ante las demandas del mercado.

Los sistemas de almacenamiento se clasifican fundamentalmente según su nivel de densidad, grado de automatización y el tipo de acceso que proporcionan a los materiales almacenados. Esta sección aborda de manera sistemática las principales tipologías de sistemas de almacenamiento, desde las configuraciones convencionales hasta las soluciones de alta densidad y los sistemas completamente automatizados que representan la frontera tecnológica de la disciplina.

La evolución de los sistemas de almacenamiento responde a tensiones fundamentales que todo diseñador debe equilibrar: densidad versus accesibilidad, inversión inicial versus flexibilidad operativa, y capacidad de almacenamiento versus velocidad de recuperación. La comprensión de estas compensaciones constituye la base para la selección adecuada de sistemas en contextos específicos.

## **2.2 Almacenamiento convencional**

El almacenamiento convencional comprende aquellos sistemas en los que cada ubicación de almacenamiento es directamente accesible mediante equipos de manejo de materiales convencionales (montacargas contrapesados, *reach trucks* o transpaletas). Estos sistemas se caracterizan por ofrecer acceso directo a cada pallet o unidad de carga almacenada, lo que facilita la gestión de inventarios con alta rotación y la preparación de pedidos selectivos.

## Estanterías selectivas

Las estanterías selectivas constituyen el sistema de almacenamiento más ampliamente utilizado en almacenes y centros de distribución a nivel global. Su diseño consiste en una estructura de perfiles de acero que conforman niveles horizontales (niveles de almacenamiento) y compartimientos verticales (bahías), formando ubicaciones individuales donde se depositan directamente las unidades de carga, típicamente pallets.

**Características estructurales:** Las estanterías selectivas se construyen con perfiles de acero laminado en frío o formado en frío, dimensionados según la carga a soportar y la altura de la instalación. Los componentes principales incluyen:

- **Montantes (columnas verticales):** Perfiles perforados que constituyen el soporte estructural vertical, con perforaciones cada 50 o 75 mm para permitir el ajuste de altura de los niveles.
- **Vigas horizontales:** Elementos que conectan los montantes y soportan directamente las cargas, disponibles en diferentes capacidades (1500 kg, 2500 kg, 3500 kg, etc.) según requerimientos.
- **Arriostramientos:** Elementos diagonales que proporcionan rigidez estructural al conjunto, esenciales para resistir cargas sísmicas y de impacto.
- **Bases de apoyo:** Placas de anclaje que fijan la estructura al piso mediante pernos de expansión o químicos.

**Configuración y dimensionamiento:** La configuración de estanterías selectivas se define por tres dimensiones fundamentales:

| Dimensión         | Rango Típico                    | Determinantes                                                                |
|-------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Altura            | 4 - 12 metros                   | Altura libre del edificio, capacidad del equipo de manejo (reach truck, VNA) |
| Profundidad       | 800 - 1200 mm                   | Dimensiones del pallet (europalet 800 mm, palet ISO 1000 mm, GMA 1016 mm)    |
| Longitud de bahía | 2300 - 2700 mm<br>(2-3 pallets) | Optimización de espacio, estabilidad estructural                             |

**Ventajas operativas:**

- **Acceso directo 100 %:** Cada ubicación de almacenamiento es accesible de manera independiente, permitiendo la gestión de inventarios por cualquier política (FIFO, LIFO, aleatoria).
- **Flexibilidad:** Posibilidad de reconfigurar alturas de niveles mediante la reubicación de vigas en las perforaciones de los montantes.
- **Compatibilidad universal:** Opera con cualquier equipo de manejo convencional (montacargas contrapesados, *reach trucks*, transpaletas).
- **Costo moderado:** Relación costo-beneficio favorable para la mayoría de las aplicaciones.

**Limitaciones:**

- **Menor densidad de almacenamiento:** El sistema requiere pasillos de acceso entre cada fila de estanterías, lo que reduce la utilización del espacio.
- **Mayor altura requerida para almacenamiento en altura:** La utilización eficiente del espacio requiere instalaciones con altura libre adecuada (mínimo 8-10 metros para justificar la inversión).

**Tabla 2.1.** Eficiencia de espacio en estanterías selectivas según configuración.

| Configuración                   | Ancho de pasillo (m) | Profundidad rack (m) | Densidad de almacenamiento (m <sup>2</sup> /pallet) |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|
| Contrapesado<br>(3.5 m pasillo) | 3.5                  | 0.8 - 1.2            | 1.8 - 2.2                                           |
| Reach truck<br>(2.8 m pasillo)  | 2.8                  | 0.8 - 1.2            | 1.5 - 1.9                                           |
| VNA<br>(1.8 m pasillo)          | 1.8                  | 0.8 - 1.2            | 1.1 - 1.4                                           |

*Nota:* Valores estimados para almacenamiento de europalets (800×1200 mm) en configuración de dos pallets por nivel.

**Estanterías Drive-In / Drive-Through**

Las estanterías *drive-in* (entrada por un lado) y *drive-through* (entrada por ambos lados) constituyen sistemas de almacenamiento de alta densidad que eliminan los pasillos entre filas de estanterías, permitiendo que los equipos de manejo ingresen directamente a la estructura para depositar o recuperar



pallets. Estos sistemas están diseñados para aplicaciones donde predomina el almacenamiento por lotes homogéneos con baja rotación selectiva.

**Principio de operación:** La estructura consiste en un conjunto de marcos que soportan rieles o vigas de soporte sobre los cuales se depositan los pallets. El equipo de manejo (montacargas) ingresa por el extremo frontal del sistema, desplazándose dentro de la estructura, y coloca o retira pallets en las posiciones disponibles. En configuración drive-in, la recuperación se realiza en orden LIFO (*Last-In, First-Out*); en *drive-through*, con acceso por ambos extremos, es posible operar en FIFO (*First-In, First-Out*).

**Características estructurales:**

- **Marcos verticales:** Estructuras de acero que soportan la totalidad del sistema.
- **Rieles longitudinales:** Elementos horizontales sobre los cuales se apoyan los pallets, diseñados para resistir cargas dinámicas durante el ingreso y retiro.
- **Profundidad de almacenamiento:** Típicamente de 3 a 10 posiciones de pallet en profundidad.
- **Altura:** Similar a estanterías selectivas (hasta 12 metros).

**Aplicaciones típicas:**

- Almacenamiento de productos homogéneos por lote (materias primas, productos terminados con baja variabilidad).
- Congeladores y cámaras frigoríficas (donde se prioriza la densidad sobre la selectividad).
- Productos con baja rotación individual, pero alta rotación de lotes completos.
- Industrias de alimentos, bebidas y productos de consumo masivo.

**Ventajas y limitaciones:**

| Aspecto       | Ventajas                                | Limitaciones                                              |
|---------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Densidad      | Alta densidad (eliminación de pasillos) | Menor que sistemas móviles o AS/RS de alta densidad       |
| Accesibilidad | Acceso directo al lote completo         | No permite acceso selectivo a pallets individuales (LIFO) |

| Aspecto      | Ventajas                                                 | Limitaciones                                     |
|--------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Inversión    | Costo por ubicación inferior a selectivas de alta altura | Mayor costo que selectivas de baja altura        |
| Equipamiento | Compatible con montacargas convencionales                | Requiere equipos con mástiles de altura adecuada |

**Tabla 2.2.** Comparativa de densidad entre sistemas convencionales.

| Sistema                                    | Palets por m <sup>2</sup> (europalet) | Accesibilidad   | Rotación recomendada                 |
|--------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|
| Selectiva (contrapesado)                   | 0.45 - 0.55                           | 100 % selectivo | Alta rotación, picking               |
| Selectiva ( <i>reach truck</i> )           | 0.55 - 0.65                           | 100 % selectivo | Media-alta rotación                  |
| <i>Drive-in</i> (3 posiciones profundidad) | 0.85 - 0.95                           | LIFO por bahía  | Baja-media rotación, lotes           |
| <i>Drive-in</i> (6 posiciones profundidad) | 1.10 - 1.25                           | LIFO por bahía  | Baja rotación, almacenamiento masivo |

## 2.3 Almacenamiento de alta densidad

Los sistemas de almacenamiento de alta densidad buscan maximizar la utilización del espacio mediante la eliminación de pasillos fijos y la compactación de las unidades de almacenamiento. Estos sistemas son particularmente valiosos en instalaciones con costos de espacio elevados o donde se requiere maximizar la capacidad de almacenamiento dentro de una huella física limitada.

### Estanterías móviles (*Movirack*)

Las estanterías móviles, también conocidas como sistemas de compactación móvil, consisten en estanterías convencionales montadas sobre carros con ruedas que se desplazan sobre rieles embebidos en el piso. Este diseño elimina los pasillos fijos entre estanterías, creando un único pasillo móvil que se abre únicamente en la posición donde se requiere acceso.

**Principio de operación:** El sistema se compone de múltiples módulos de estanterías montados sobre bases móviles. En estado de reposo, todos los módulos permanecen compactados unos contra otros, ocupando el mínimo espacio posible. Cuando un operador requiere acceder a un

módulo específico, activa el sistema (mediante control manual, remoto o automático), que desplaza los módulos adyacentes para crear un pasillo de acceso en la ubicación deseada.

### Tipos de accionamiento:

| Tipo                  | Accionamiento                             | Velocidad de apertura | Aplicación                                           |
|-----------------------|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------|
| Manual                | Palanca mecánica, esfuerzo humano         | Baja (10-20 segundos) | Baja frecuencia de acceso, cargas livianas           |
| Eléctrico con cable   | Motor eléctrico, control remoto           | Media (5-10 segundos) | Volumen medio, cargas moderadas                      |
| Automático por sensor | Motor eléctrico con sensores de presencia | Rápida (3-5 segundos) | Alta frecuencia, integración con sistemas de gestión |

### Ventajas estratégicas:

- **Máxima densidad de almacenamiento:** Puede incrementar la capacidad de almacenamiento en un 50 % a 80 % respecto a estanterías selectivas equivalentes.
- **Flexibilidad de acceso:** Aunque se abre un solo pasillo a la vez, cualquier ubicación es accesible sin necesidad de reubicar inventarios.
- **Compatibilidad:** Opera con equipos de manejo convencionales (montacargas, transpaletas, ordenadores).

### Aplicaciones típicas:

- Almacenes con costos de espacio elevados (centros urbanos, instalaciones refrigeradas)
- Documentación y archivo (cargas livianas, alta densidad)
- Almacenamiento de materiales de baja a media rotación
- Industrias farmacéuticas, hospitalaria y de laboratorios

### Consideraciones de diseño:

- **Requerimientos de piso:** Superficie nivelada (tolerancia típica  $\pm 3$  mm por metro lineal), con capacidad estructural adecuada para soportar cargas concentradas.
- **Seguridad:** Sistemas de detección de presencia obligatorios para evitar atrapamientos.
- **Distribución de cargas:** Requiere balanceo de cargas entre módulos para garantizar desplazamiento uniforme.

## Estanterías *cantilever*

Las estanterías *cantilever* son sistemas especializados diseñados para el almacenamiento de cargas de gran longitud, como tubos, perfiles metálicos, madera, planchas de acero, muebles y otros productos de dimensiones extendidas. Su diseño consiste en una columna central (mástil) de la cual se proyectan brazos horizontales (*cantilevers*) en uno o ambos lados, formando niveles de almacenamiento sin obstrucciones frontales.

### Características estructurales:

- **Columnas verticales (mástiles):** Perfiles de acero de alta resistencia, anclados al piso y frecuentemente conectados entre sí mediante arriostramientos superiores para estabilidad.
- **Brazos horizontales (*cantilevers*):** Elementos que se insertan en las columnas mediante sistemas de ajuste vertical, soportando directamente las cargas.
- **Brazos de refuerzo:** Elementos diagonales que proporcionan rigidez adicional a los brazos horizontales para cargas pesadas.
- **Topes de seguridad:** Elementos en los extremos de los brazos para prevenir deslizamiento de cargas.

### Configuraciones:

| Configuración                         | Descripción                                         | Aplicación                                            |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <i>Cantilever</i> simple (unilateral) | Brazos proyectados hacia un solo lado de la columna | Almacenamiento contra pared, pasillo único            |
| <i>Cantilever</i> doble (bilateral)   | Brazos proyectados hacia ambos lados de la columna  | Almacenamiento central, pasillos a ambos lados        |
| <i>Cantilever</i> con respaldo        | Estructura con respaldo continuo                    | Prevención de deslizamiento posterior, cargas sueltas |

### Capacidades y dimensionamiento:

- **Capacidad por brazo:** Desde 500 kg hasta 5000 kg, según perfil y longitud
- **Longitud de brazo:** Desde 600 mm hasta 2500 mm.
- **Altura total:** Hasta 8-10 metros.
- **Separación vertical entre niveles:** Ajustable según altura de las cargas.

**Ventajas operativas:**

- **Acceso frontal total:** Permite la carga y descarga con equipos convencionales sin obstrucciones.
- **Almacenamiento sin restricciones de longitud:** Capacidad para productos de hasta 8-10 metros de longitud.
- **Flexibilidad de configuración:** Brazos ajustables en altura según dimensiones de la carga.

**Aplicaciones principales:**

- Industria metalmecánica (tubos, perfiles, barras, planchas).
- Industria maderera (tablones, paneles, molduras).
- Mueblería y almacenamiento de productos de gran longitud.
- Construcción y materiales para la construcción.

**Tabla 2.3.** *Comparativa de sistemas de almacenamiento de alta densidad.*

| Sistema             | Densidad                    | Accesibilidad                    | Inversión relativa | Aplicación típica                            |
|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------------------------|
| Estanterías móviles | Muy alta (elimina pasillos) | Selectiva con tiempo de apertura | Alta               | Productos de media rotación, espacio crítico |
| Cantilever          | Media (depende de longitud) | Selectiva total                  | Media-alta         | Cargas largas (tubos, perfiles, madera)      |
| <i>Drive-in</i>     | Alta                        | LIFO por bahía                   | Media              | Lotes homogéneos, baja rotación              |
| <i>Push-back</i>    | Alta                        | LIFO con accesibilidad frontal   | Media-alta         | Múltiples SKU por bahía, rotación media      |

## 2.4 Sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (AS/RS)

Los Sistemas Automatizados de Almacenamiento y Recuperación (*Automated Storage and Retrieval Systems* [AS/RS]) representan el nivel más avanzado de tecnología en almacenamiento, integrando estructuras de estanterías de alta densidad con equipos de manejo automatizados que operan bajo control computarizado. Estos sistemas eliminan la intervención humana

en las operaciones de almacenamiento y recuperación, incrementando significativamente la productividad, la precisión y la utilización del espacio.

## Principios y clasificación de AS/RS

**Definición y componentes:** Un AS/RS es un sistema integrado que combina:

- Estructura de estanterías: Configuración de alta densidad que puede alcanzar alturas de 20 a 45 metros.
- Equipos de manejo automatizados (S/R machines - Stacker Cranes): Vehículos que se desplazan vertical y horizontalmente dentro de los pasillos para depositar y recuperar cargas.
- Sistema de transferencia de carga: Estaciones de entrada y salida donde se entregan o reciben las unidades de carga.
- Sistema de control computarizado (*Warehouse Control System* [WCS]): Software que gestiona las operaciones, optimiza rutas y mantiene la trazabilidad.

### Clasificación por tipo de unidad de carga:

| Tipo de AS/RS                            | Unidad de Carga                      | Capacidad por ubicación | Altura típica |
|------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------|
| AS/RS de pallets<br>( <i>Unit Load</i> ) | Pallets (1200×1,000 mm, 1200×800 mm) | 500 - 2000 kg           | 15 - 45 m     |
| <i>Miniload</i>                          | Contenedores, cajas, bandejas        | 50 - 300 kg             | 10 - 25 m     |
| Micro-load                               | Piezas pequeñas, bins                | 5 - 50 kg               | 6 - 12 m      |

### Clasificación por configuración de pasillos:

| Configuración                     | Descripción                                  | Ventajas                                  | Limitaciones      |
|-----------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|
| Pasillo único<br>(single aisle)   | Una S/R machine por pasillo                  | Simplicidad de control, menor inversión   | Menor redundancia |
| Pasillo múltiple<br>(multi-aisle) | Múltiples pasillos con S/R machine dedicadas | Mayor capacidad, segregación por producto | Mayor inversión   |

| Configuración                | Descripción                                              | Ventajas                  | Limitaciones                  |
|------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Transferencia entre pasillos | S/R machine con transferencia entre pasillos             | Flexibilidad, redundancia | Mayor complejidad de control  |
| Sistema de túnel             | Estructura continua con S/R machine que opera en túneles | Máxima densidad           | Mayor complejidad estructural |

## AS/RS de Pallets (Unit Load AS/RS)

Los sistemas AS/RS de pallets están diseñados para el manejo de cargas unitarias completas (pallets), constituyendo la solución de mayor capacidad dentro de los sistemas automatizados. Su aplicación es característica en centros de distribución de gran volumen, plantas manufactureras con producción continua y operaciones donde la rotación de inventarios es alta y la precisión es crítica.

### Características técnicas:

- **Altura:** 15 a 45 metros, aprovechando al máximo la altura del edificio.
- **Capacidad por ubicación:** 500 a 2,000 kg.
- **Profundidad de almacenamiento:** Doble profundidad (2 posiciones) en configuraciones de alta densidad.
- **Velocidad de desplazamiento horizontal:** Hasta 240 m/min.
- **Velocidad de elevación:** Hasta 60 m/min.
- **Precisión de posicionamiento:**  $\pm 3$  a  $\pm 5$  mm.

### Configuraciones de almacenamiento:

| Configuración                       | Descripción                                                     | Densidad | Accesibilidad               |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------|
| Simple profundidad                  | Un pallet por ubicación                                         | Media    | 100 % selectiva             |
| Doble profundidad                   | Dos pallets en profundidad                                      | Alta     | Selectiva con secuenciación |
| Profundidad múltiple (conveyorized) | Múltiples pallets en profundidad con transportadores integrados | Muy alta | FIFO automática             |

**Ventajas estratégicas:**

- **Máxima utilización del espacio:** Elimina pasillos operativos y utiliza la altura total del edificio.
- **Reducción de mano de obra:** Elimina operadores de equipos de manejo.
- **Precisión y trazabilidad:** Control absoluto de inventarios y registro automático de cada movimiento.
- **Seguridad:** Elimina riesgos asociados a operación de montacargas en altura.
- **Integración:** Conecta directamente con sistemas de producción y expedición.

**Aplicaciones típicas:**

- Centros de distribución de gran volumen (retail y consumo masivo).
- Plantas manufactureras con almacenamiento automatizado de materias primas y producto terminado.
- Industria automotriz (almacenamiento de componentes).
- Almacenes frigoríficos (donde las condiciones ambientales son extremas).

**Miniload AS/RS**

Los sistemas *Miniload* están diseñados para el manejo de cargas ligeras almacenadas en contenedores, bandejas o cajas de dimensiones reducidas. Constituyen la solución predominante en operaciones de preparación de pedidos de alta velocidad, como centros de distribución de e-commerce, farmacia, repuestos automotrices y electrónica de consumo.

**Características técnicas:**

- **Unidad de carga:** Contenedores plásticos o metálicos, bandejas, cajas de cartón reforzado.
- **Dimensiones típicas:** Módulo base 600×400 mm (compatible con europalet), hasta 800×600 mm.
- **Capacidad por ubicación:** 50 a 300 kg.
- **Altura:** 10 a 25 metros.
- **Velocidad de desplazamiento:** Hasta 300-400 m/min horizontal, 100-150 m/min vertical.



**Componentes del sistema Miniload:**

| Componente                     | Función                                | Especificaciones típicas                                                     |
|--------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| S/R machine (stacker crane)    | Movimiento vertical y horizontal       | Configuración simple mástil o doble mástil                                   |
| Estaciones de picking          | Punto de interacción humano-máquina    | Ergonomía optimizada, sistemas de asistencia ( <i>pick-to-light, voice</i> ) |
| Transportadores de conexión    | Alimentación y salida de contenedores  | Integración con sistemas de clasificación                                    |
| WCS (Warehouse Control System) | Control de movimientos y secuenciación | Optimización de rutas, gestión de prioridades                                |

**Ventajas operativas:**

- **Alta velocidad de recuperación:** Capacidad de recuperar 150-300 contenedores por hora por pasillo.
- **Ergonomía superior:** Las estaciones de picking se diseñan a altura óptima (evita agachamientos y estiramientos).
- **Precisión de inventario:** Control absoluto de existencias, trazabilidad por contenedor.
- **Flexibilidad de picking:** Posibilidad de presentar contenedores en secuencia optimizada para picking por ola.

**Sistemas AS/RS Especializados**

**AS/RS de cargas largas:** Sistemas diseñados para el almacenamiento de productos de gran longitud (tubos, perfiles, barras de acero y madera) en estructuras automatizadas. Utilizan S/R machines con horquillas extensibles o sistemas de transferencia lateral para manejar cargas de hasta 12-15 metros de longitud.

**AS/RS para frigoríficos:** Sistemas especialmente diseñados para operar en condiciones de temperatura extremas (hasta -30°C). Incorporan componentes con lubricantes especiales, sistemas anticondensación y materiales resistentes a bajas temperaturas. La automatización es particularmente valiosa en estos entornos, ya que elimina la exposición de operadores a condiciones extremas.

**Sistemas de carrusel vertical y horizontal:** Constituyen una forma simplificada de AS/RS, utilizada principalmente para almacenamiento de

piezas pequeñas y medianas en espacios reducidos. Los carruseles verticales rotan sobre un eje vertical, trayendo el nivel requerido a la posición de acceso del operador; los carruseles horizontales rotan sobre un eje horizontal, moviendo los estantes a lo largo de un recorrido ovalado.

**Tabla 2.4.** Comparativa de sistemas automatizados de almacenamiento.

| Sistema             | Unidad de Carga     | Altura  | Productividad               | Inversión relativa | Aplicación                                   |
|---------------------|---------------------|---------|-----------------------------|--------------------|----------------------------------------------|
| AS/RS pallets       | Pallets             | 15-45 m | 30-50 ciclos/hora/pasillo   | Muy alta           | Gran volumen, alta rotación                  |
| <i>Miniload</i>     | Contenedores, cajas | 10-25 m | 150-300 ciclos/hora/pasillo | Alta               | E-commerce, <i>picking</i> rápido            |
| <i>Micro-load</i>   | Piezas pequeñas     | 6-12 m  | 300-500 ciclos/hora/pasillo | Media-alta         | Repuestos, componentes electrónicos          |
| Carrusel vertical   | Bandejas            | 3-8 m   | 50-100 ciclos/hora          | Media              | Almacenamiento compacto, piezas pequeñas     |
| Carrusel horizontal | Bandejas            | 2-3 m   | 100-200 ciclos/hora         | Media-baja         | <i>Picking</i> de piezas, espacios reducidos |

## 2.5 Tablas de síntesis y selección

**Tabla 2.5.** Guía de selección de sistemas de almacenamiento.

| Factor Crítico            | Estanterías Selectivas | Drive-In        | Estanterías Móviles | AS/RS        |
|---------------------------|------------------------|-----------------|---------------------|--------------|
| Volumen de almacenamiento | Bajo a muy alto        | Medio a alto    | Medio a alto        | Muy alto     |
| Número de SKU             | Alto (100 % selectivo) | Bajo (por lote) | Alto                | Medio a alto |

**Tabla 2.5.** *Guía de selección de sistemas de almacenamiento.*

| <b>Factor Crítico</b>    | <b>Estanterías Selectivas</b> | <b>Drive-In</b>      | <b>Estanterías Móviles</b> | <b>AS/RS</b>        |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|
| Rotación de inventario   | Alta                          | Baja a media         | Media                      | Alta                |
| Altura del edificio      | <12 m                         | <12 m                | <10 m                      | >12 m               |
| Inversión inicial        | Baja-media                    | Media                | Media-alta                 | Muy alta            |
| Costo operativo          | Medio (mano de obra)          | Medio (mano de obra) | Medio-bajo                 | Bajo (automatizado) |
| Flexibilidad             | Alta                          | Baja                 | Media                      | Baja a media        |
| Precisión requerida      | Estándar                      | Estándar             | Estándar                   | Muy alta            |
| Tiempo de implementación | 2-4 meses                     | 2-4 meses            | 3-6 meses                  | 12-24 meses         |

**Tabla 2.6.** *Comparativa de densidades de almacenamiento.*

| <b>Sistema de Almacenamiento</b>              | <b>Ubicaciones por m<sup>2</sup> (europalet)</b> | <b>Densidad relativa (selectiva = 1.0)</b> |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Estanterías selectivas (contrapesado)         | 0.45 - 0.55                                      | 1.0                                        |
| Estanterías selectivas ( <i>reach truck</i> ) | 0.55 - 0.65                                      | 1.2                                        |
| Estanterías selectivas (VNA)                  | 0.70 - 0.85                                      | 1.5                                        |
| <i>Drive-in</i> (3 profundidad)               | 0.85 - 0.95                                      | 1.7                                        |
| <i>Drive-in</i> (6 profundidad)               | 1.10 - 1.25                                      | 2.2                                        |
| Estanterías móviles                           | 1.20 - 1.50                                      | 2.5                                        |
| <i>Push-back</i>                              | 0.90 - 1.10                                      | 2.0                                        |
| AS/RS pallets (simple profundidad)            | 1.10 - 1.30                                      | 2.3                                        |
| AS/RS pallets (doble profundidad)             | 1.40 - 1.70                                      | 3.0                                        |

*Nota:* Valores estimados para europalets (800×1,200 mm). Las densidades reales varían según dimensiones específicas del edificio y configuraciones operativas.

Los sistemas de almacenamiento constituyen un componente fundamental del manejo de materiales, cuya selección adecuada determina la eficiencia, productividad y competitividad de las operaciones logísticas. Desde las estanterías selectivas convencionales hasta los sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (AS/RS), cada configuración responde a requerimientos específicos de volumen, rotación, selectividad y nivel de automatización.

Las estanterías selectivas mantienen su relevancia como solución universal para operaciones que requieren alta selectividad y flexibilidad, constituyendo la opción predominante en la mayoría de los almacenes de tamaño medio. Los sistemas de alta densidad como drive-in, estanterías móviles y *cantilever* ofrecen soluciones especializadas para aplicaciones donde la optimización del espacio es prioritaria o donde se manejan productos de geometrías específicas.

La automatización del almacenamiento a través de sistemas AS/RS representa la frontera tecnológica de la disciplina, ofreciendo niveles de productividad, precisión y utilización del espacio inalcanzables mediante operaciones convencionales. La inversión en estos sistemas, aunque significativa, se justifica en operaciones de alto volumen, entornos con costos de espacio elevados o donde la mano de obra es crítica.

La selección del sistema de almacenamiento debe basarse en un análisis riguroso de las características de los productos (dimensiones, peso y fragilidad), los patrones de rotación, los volúmenes de operación, la infraestructura disponible y los costos totales de propiedad. Un error en esta selección puede comprometer la eficiencia operativa durante toda la vida útil de la instalación, subrayando la importancia de un enfoque sistemático y basado en datos en el diseño de sistemas de almacenamiento.

# Capítulo 6

---

## **Sistemas de transporte y clasificación**

### **3.1 Introducción a los sistemas de transporte y clasificación**

El transporte interno de materiales constituye el eslabón que conecta las diferentes áreas funcionales dentro de una instalación logística o productiva. Mientras que los equipos de movimiento descritos en la Sección 2.1 (montacargas y transpaletas) operan con rutas variables y conducción manual, los sistemas de transporte y clasificación se caracterizan por operar sobre rutas fijas o semivariantes, con mayores niveles de automatización y capacidad de integración con sistemas de control computarizado. Estos sistemas permiten establecer flujos continuos de materiales, reduciendo la dependencia de mano de obra para movimientos repetitivos y liberando los equipos móviles para operaciones que requieren mayor flexibilidad.

La evolución de los sistemas de transporte ha transitado desde los transportadores mecánicos convencionales hacia soluciones autónomas y robóticas que incorporan inteligencia artificial y capacidades de navegación avanzada. Esta sección aborda de manera sistemática los principales sistemas de transporte interno: transportadores mecánicos (de banda, rodillos y cadena), vehículos guiados automatizados (AGV), vehículos autónomos móviles (AMR), robótica industrial aplicada a paletizado y despaletizado, y sistemas automáticos de clasificación (*sorters*). Cada una de estas tecnologías responde a requerimientos específicos de volumen, distancia, flexibilidad e integración con los procesos productivos y logísticos.

La selección adecuada de sistemas de transporte y clasificación impacta directamente en la productividad, la precisión operativa y la capacidad de respuesta de la cadena de suministro. La comprensión de las características, ventajas y limitaciones de cada tecnología constituye una competencia fundamental para el diseño de sistemas integrados de manejo de materiales.

## 3.2 Transportadores mecánicos

Los transportadores mecánicos constituyen la categoría más antigua y ampliamente utilizada de sistemas de transporte interno. Se caracterizan por operar sobre rutas fijas, con movimiento continuo o intermitente, y son especialmente adecuados para el transporte de grandes volúmenes de materiales entre puntos fijos dentro de una instalación. Su aplicación es predominante en plantas de manufactura, centros de distribución, aeropuertos y, en general, en cualquier operación donde se requiera mover un flujo constante de productos a lo largo de trayectorias definidas.

### Transportadores de banda

Los transportadores de banda (*belt conveyors*) son los más versátiles dentro de los sistemas de transporte mecánico. Consisten en una banda continua de material flexible (caucho, PVC, poliuretano y tejidos recubiertos) que se desplaza sobre rodillos o una cama de deslizamiento, impulsada por un motor en el extremo de retorno o de descarga. Su aplicación abarca desde el transporte de productos sueltos hasta el manejo de cajas y paquetes individuales.

#### Componentes principales:

- **Banda transportadora:** Elemento flexible que soporta y desplaza la carga. Los materiales más comunes incluyen PVC (resistencia media, buena flexibilidad), poliuretano (resistencia a aceites y grasas), caucho (alta resistencia a abrasión) y tejidos recubiertos (aplicaciones alimentarias).
- **Rodillos de carga (rodillos superiores):** Soportan la banda y la carga en el tramo de transporte.
- **Rodillos de retorno (rodillos inferiores):** Soportan la banda en su recorrido de retorno.
- **Estación motriz:** Conjunto que incluye motorreductor, tambor motriz y sistemas de tensado.
- **Sistemas de guiado:** Dispositivos que mantienen la banda alineada en su trayectoria.

**Clasificación según superficie:**

| Tipo de Banda                | Características                             | Aplicaciones                                              |
|------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Lisa                         | Superficie uniforme, baja fricción          | Transporte de cajas, paquetes, productos con base plana   |
| Antideslizante (texturizada) | Superficie rugosa para evitar deslizamiento | Transporte en pendientes, productos con baja fricción     |
| De tacos ( <i>cleated</i> )  | Barras transversales para evitar retroceso  | Transporte en pendientes pronunciadas, productos pequeños |
| Modular de plástico          | Eslabones plásticos ensamblados             | Aplicaciones alimentarias, lavado, curvas pronunciadas    |

**Ventajas operativas:**

- **Versatilidad:** Capacidad para transportar una amplia variedad de productos (desde polvos hasta cajas de gran tamaño).
- **Operación continua:** Flujo constante de materiales sin interrupciones.
- **Bajo mantenimiento:** Sistemas robustos con larga vida útil.
- **Capacidad de pendientes:** Posibilidad de transportar en inclinaciones (hasta 20-25° con bandas estándar, hasta 35° con bandas de tacos).

**Limitaciones:**

- **Ruta fija:** Una vez instalado, modificar la trayectoria requiere cambios estructurales significativos.
- **Sensibilidad a la contaminación:** Acumulación de residuos puede afectar la alineación y vida útil de la banda.
- **Ruido operativo:** Niveles de ruido moderados a altos, especialmente en velocidades elevadas.

**Transportadores de rodillos**

Los transportadores de rodillos (*roller conveyors*) utilizan una serie de rodillos cilíndricos montados sobre un bastidor, sobre los cuales los productos se desplazan por gravedad (en pendiente) o mediante rodillos motorizados. Son particularmente adecuados para el transporte de productos con base rígida y plana, como cajas, bandejas, pallets y contenedores.



**Clasificación por tipo de accionamiento:**

| Tipo                       | Accionamiento                            | Características                             | Aplicaciones                                           |
|----------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Gravedad<br>(sin motor)    | Pendiente (1-3 %)                        | Bajo costo, sin consumo energético          | Acumulación, líneas de picking, estaciones de trabajo  |
| Motorizado por cadena      | Motor central con transmisión por cadena | Alta capacidad, robustez                    | Transporte de cargas pesadas, pallets                  |
| Motorizado por banda plana | Banda que fricciona con los rodillos     | Silencioso, velocidad regulable             | Transporte de cajas ligeras, líneas de ensamble        |
| Motorizado por banda "O"   | Bandas elásticas que conectan rodillos   | Bajo costo, fácil mantenimiento             | Transporte ligero, curvas                              |
| Motorizado por eje (24V)   | Rodillos con motorización individual     | Zonificación independiente, control preciso | Acumulación, sistemas de clasificación, <i>picking</i> |

**Transportadores de rodillos de 24 V:** Representan la evolución más reciente en tecnología de transportadores motorizados. Cada rodillo incorpora un motor individual (usualmente de 24 V DC), lo que permite controlar zonas independientes sin necesidad de transmisiones mecánicas. Las ventajas incluyen:

- **Zonificación precisa:** Cada zona puede activarse o desactivarse independientemente.
- **Bajo consumo energético:** Los motores operan solo cuando se detecta carga.
- **Seguridad:** Ausencia de cadenas y elementos de transmisión expuestos.
- **Facilidad de instalación:** Conexión mediante cables de baja tensión.

**Configuraciones de rodillos:**

| CONFIGURACIÓN                | DESCRIPCIÓN                            | APLICACIÓN                                   |
|------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|
| RECTOS                       | Rodillos paralelos al flujo            | Transporte lineal                            |
| CURVAS                       | Rodillos cónicos o en abanico          | Cambios de dirección                         |
| ESQUINAS<br>(TRANSFERENCIAS) | Rodillos orientados a 90°              | Transferencia entre transportadores          |
| ESCALONES (POP-UP)           | Rodillos elevables mediante actuadores | Desvíos, acumulación y estaciones de trabajo |

## Transportadores de cadena

Los transportadores de cadena (*chain conveyors*) utilizan cadenas metálicas para el desplazamiento de cargas pesadas, pallets, contenedores o productos que requieren un transporte robusto y con alta capacidad de tracción. Son la solución preferida en aplicaciones industriales donde las cargas superan los 500 kg o donde las condiciones ambientales son adversas.

### Tipos principales:

| Tipo                          | Configuración                                           | Capacidad típica              | Aplicaciones                                                            |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Cadena de rodillos            | Cadenas con rodillos que soportan directamente la carga | Hasta 5000 kg por unidad      | Transporte de pallets pesados, contenedores industriales                |
| Cadena de arrastre            | Cadena que arrastra carros o plataformas                | Hasta 10 000 kg               | Transporte de vehículos en líneas de ensamble, cargas muy pesadas       |
| Cadena de tablillas           | Cadena con tablillas transversales                      | Hasta 500 kg por metro lineal | Transporte de productos sueltos, piezas metálicas                       |
| Cadena de arrastre de pallets | Cadenas paralelas con superficies de deslizamiento      | Hasta 2000 kg por pallet      | Sistemas automatizados de almacenamiento (AS/RS), transporte de pallets |

### Ventajas:

- **Alta capacidad de carga:** Diseñados para soportar cargas pesadas y continuas.
- **Durabilidad:** Resistencia a condiciones adversas (temperatura, humedad, contaminantes).
- **Precisión de posicionamiento:** Adecuados para aplicaciones que requieren paradas precisas.

### Limitaciones:

- **Costo de mantenimiento:** Las cadenas requieren lubricación y tensado periódico.
- **Ruido operativo:** Niveles de ruido significativos en operación.
- **Seguridad:** Requieren resguardos para prevenir atrapamientos.

**Tabla 3.1.** Comparativa de transportadores mecánicos.

| Tipo                          | Carga típica por unidad | Velocidad operativa  | Costo relativo | Aplicación principal                       |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|--------------------------------------------|
| Banda                         | 0 - 50 kg               | 0.5 - 2.5 m/s        | Bajo           | Productos sueltos, cajas ligeras           |
| Rodillos gravedad             | 0 - 50 kg               | Variable (pendiente) | Muy bajo       | Acumulación, <i>picking</i> manual         |
| Rodillos motorizados (24V)    | 0 - 50 kg               | 0.3 - 1.0 m/s        | Medio          | Sistemas de clasificación, <i>picking</i>  |
| Rodillos motorizados (cadena) | 50 - 500 kg             | 0.2 - 0.8 m/s        | Medio-Alto     | Transporte de cajas pesadas, contenedores  |
| Cadena                        | 500 - 5000 kg           | 0.1 - 0.5 m/s        | Alto           | Transporte de pallets, cargas industriales |

## Vehículos Guiados Automatizados (AGV) y Vehículos Autónomos Móviles (AMR)

Los vehículos guiados automatizados (*Automated Guided Vehicles* [AGV]) y los vehículos autónomos móviles (*Autonomous Mobile Robots* [AMR]) representan la evolución del transporte interno desde sistemas de ruta fija hacia plataformas inteligentes con capacidad de navegación autónoma. Aunque frecuentemente se utilizan como términos intercambiables, existen diferencias fundamentales en su tecnología de navegación y grado de autonomía.

### 3.3.1 Vehículos Guiados Automatizados (AGV)

Los AGV son vehículos de carga autopropulsados que siguen rutas pre-determinadas utilizando sistemas de guiado físico o electrónico. Su operación no requiere conductor a bordo, y su trayectoria está determinada por elementos instalados en la infraestructura de la instalación.

### Sistemas de guiado de AGV:

| Sistema de Guiado         | Principio de Operación                                 | Ventajas                                | Limitaciones                         |
|---------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| Alambre enterrado         | Señal electromagnética de cable bajo el piso           | Alta precisión, inmune a interferencias | Alta instalación inicial, inflexible |
| Cinta magnética           | Seguimiento de cinta magnética adherida al piso        | Bajo costo, fácil instalación           | Susceptible a daño por tránsito      |
| Reflectores láser         | Navegación por reflectores en paredes/estructuras      | Flexibilidad de rutas, precisión        | Requiere campo visual despejado      |
| QR/Códigos                | Lectura de códigos en el piso                          | Bajo costo, fácil modificación          | Mantenimiento de códigos             |
| Inducción (línea pintada) | Seguimiento de línea pintada mediante sensores ópticos | Bajo costo, instalación simple          | Sensible a suciedad y desgaste       |

### Clasificación por configuración:

| Configuración            | Descripción                                                            | Capacidad típica            | Aplicación                                      |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|
| <i>Unit Load</i> AGV     | Transporte de cargas unitarias (pallets) sobre plataforma o horquillas | 500 - 5000 kg               | Transporte de pallets en almacenes y producción |
| <i>Tugger</i> AGV (tren) | Remolque de carros múltiples                                           | 1000 - 10 000 kg (tracción) | Abastecimiento de líneas de producción          |
| <i>Forklift</i> AGV      | Configuración de montacargas autónomo                                  | 1500 - 3000 kg              | Operaciones de carga/descarga y almacenamiento  |
| <i>Cart</i> AGV          | Plataforma de carga con rodillos o superficie plana                    | 100 - 1000 kg               | Transporte de cajas, contenedores pequeños      |

### Vehículos Autónomos Móviles (AMR)

Los AMR representan la evolución de los AGV, incorporando capacidades de navegación autónoma basadas en sensores avanzados, inteligencia

artificial y mapas del entorno. A diferencia de los AGV, los AMR no requieren infraestructura de guiado fija (cables, cintas, reflectores), sino que construyen y actualizan dinámicamente mapas del entorno, calculando rutas óptimas en tiempo real y adaptándose a cambios en el entorno.

### Tecnologías de navegación de AMR:

| Tecnología                                               | Principio                                               | Ventajas                                  | Limitaciones                                       |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| LiDAR<br>( <i>Laser Imaging Detection and Ranging</i> )  | Escaneo láser 360° para mapeo y detección de obstáculos | Alta precisión, amplio rango              | Costo, sensibilidad a partículas en suspensión     |
| SLAM<br>( <i>Simultaneous Localization and Mapping</i> ) | Construcción y actualización simultánea de mapas        | Capacidad de operar en entornos dinámicos | Requiere procesamiento computacional significativo |
| Visión<br>(cámaras 3D)                                   | Navegación basada en reconocimiento visual              | Bajo costo, información semántica         | Sensible a condiciones de iluminación              |
| Odometría<br>( <i>encoders</i> )                         | Estimación de posición basada en movimiento de ruedas   | Bajo costo, complementario                | Acumulación de errores con distancia               |
| Fusión de sensores                                       | Combinación de múltiples tecnologías                    | Robustez, redundancia                     | Mayor complejidad, costo                           |

### Diferencias clave entre AGV y AMR:

| Característica                   | AGV                                                            | AMR                                         |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Infraestructura requerida        | Cables, cintas, reflectores, códigos                           | Ninguna (autónomo)                          |
| Flexibilidad de rutas            | Rutas fijas, cambios requieren modificación de infraestructura | Rutas dinámicas, actualización por software |
| Adaptación a cambios             | Baja (requiere modificación física)                            | Alta (replanificación automática)           |
| Navegación en espacios dinámicos | Limitada                                                       | Avanzada (evasión de obstáculos)            |
| Escalabilidad                    | Media (requiere instalación)                                   | Alta (flota coordinada por software)        |

| Característica                    | AGV   | AMR        |
|-----------------------------------|-------|------------|
| Inversión inicial                 | Media | Media-Alta |
| Costo de implementación por robot | Bajo  | Medio      |

### Aplicaciones típicas de AMR:

- **Picking autónomo:** Transporte de contenedores a estaciones de *picking*.
- **Abastecimiento de líneas:** Suministro de materiales a estaciones de producción bajo demanda (Kanban electrónico).
- **Transferencia entre áreas:** Conexión flexible entre almacenes, producción y expedición.
- **Logística de materiales en hospitales:** Transporte de medicamentos, muestras, ropa.
- **Manufactura ágil:** Apoyo a procesos de ensamble con alta variabilidad.

**Tabla 3.2.** Comparativa de sistemas AGV y AMR.

| Criterio                       | AGV                                     | AMR                                       |
|--------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|
| Navegación                     | Guiado por infraestructura fija         | Autónoma con mapas y SLAM                 |
| Instalación inicial            | Alta (cableado, reflectores)            | Baja (mapeo inicial por software)         |
| Flexibilidad                   | Baja (rutas fijas)                      | Alta (rutas dinámicas)                    |
| Adaptación a cambios           | Lenta (requiere modificación física)    | Rápida (actualización software)           |
| Navegación en entorno dinámico | Limitada (detecta, pero no replanifica) | Avanzada (replanificación en tiempo real) |
| Capacidad de carga             | 500 - 5000+ kg                          | 100 - 1500 kg                             |
| Costo por unidad               | Medio                                   | Medio-Alto                                |
| Escalabilidad                  | Media                                   | Alta (coordinación centralizada)          |

## 3.4 Robótica para Paletizado y Despaletizado

La robótica industrial ha transformado las operaciones de formación y descomposición de unidades de carga, ofreciendo niveles de productividad, precisión y flexibilidad inalcanzables mediante métodos manuales o

mecanizados convencionales. Los brazos robóticos para paletizado y despaletizado representan una de las aplicaciones más extendidas de la robótica en el manejo de materiales.

## Paletizado Robótico

El paletizado robótico consiste en la formación automática de unidades de carga (pallets) mediante la colocación sistemática de productos (cajas, sacos, bidones, etc.) sobre el pallet siguiendo patrones predeterminados. Los robots realizan la tarea de tomar productos de una línea de transporte o alimentación, orientarlos según el patrón requerido y depositarlos en la posición correcta sobre la capa en formación.

### Configuraciones de paletizado robótico:

| Configuración                          | Descripción                                                   | Ventajas                                  | Limitaciones                       |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|
| Paletizado en línea ( <i>in-line</i> ) | Robot integrado en línea de producción, paletiza directamente | Menor espacio, flujo continuo             | Dependencia de ritmo de producción |
| Paletizado en celda                    | Robot en celda independiente, alimentado por transportador    | Flexibilidad, múltiples líneas de entrada | Mayor espacio requerido            |
| Paletizado mixto                       | Paletización de múltiples SKU en un mismo pallet              | Ideal para centros de distribución        | Mayor complejidad de software      |
| Paletizado en capa completa            | Robot coloca capas completas mediante cabezal de vacío        | Alta velocidad (hasta 60 capas/hora)      | Menor flexibilidad por SKU         |

### Tipos de robots para paletizado:

| Tipo                                          | Alcance               | Capacidad de carga | Aplicación                                  |
|-----------------------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------------------------------|
| Robot articulado 4 ejes (SCARA especializado) | 1.5 - 3.0 m           | 50 - 300 kg        | Paletizado de cajas ligeras, alta velocidad |
| Robot articulado 6 ejes                       | 2.0 - 3.5 m           | 100 - 500 kg       | Máxima flexibilidad, aplicaciones complejas |
| Robot pórtico ( <i>gantry</i> )               | Variable (hasta 10 m) | 500 - 2000 kg      | Cargas muy pesadas, alta rigidez            |

| Tipo                          | Alcance     | Capacidad de carga | Aplicación                                     |
|-------------------------------|-------------|--------------------|------------------------------------------------|
| Robot colaborativo<br>(cobot) | 0.8 - 1.5 m | 5 - 25 kg          | Paletizado de bajo volumen, espacios reducidos |

**Patrones de paletizado:** El software de paletizado calcula patrones óptimos que maximizan la estabilidad y utilización del pallet, considerando:

- Dimensiones de la caja y del pallet
- Peso y centro de gravedad
- Resistencia del producto al aplastamiento
- Secuencia de capas (intercalado para estabilidad)

## Despaletizado robótico

El despaletizado robótico realiza la función inversa al paletizado: descomponer unidades de carga (pallets) en productos individuales para su ingreso a líneas de producción, clasificación o procesos posteriores. Esta aplicación es particularmente común en centros de distribución, plantas embotelladoras, industria alimentaria y operaciones de e-commerce.

### Tecnologías de visión para despaletizado:

| Tecnología                      | Función                                       | Ventajas                    |
|---------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| Visión 2D                       | Localización de productos en capa             | Bajo costo, rápida          |
| Visión 3D (estereoscópica)      | Detección de altura y posición tridimensional | Manejo de capas irregulares |
| Escáner láser (LiDAR 3D)        | Mapeo completo de la carga                    | Precisión, robustez         |
| Visión con aprendizaje profundo | Identificación de SKU, detección de daños     | Adaptación a variabilidad   |

### Aplicaciones de despaletizado:

- **Recepción de materiales:** Despaletizado de materias primas para ingreso a producción.
- **Centros de distribución:** Despaletizado de productos para sistemas de clasificación.



- **Logística inversa:** Manejo de devoluciones y reciclaje.
- **Industria alimentaria:** Despaletizado de botellas, latas y envases.

### 3.5 Sistemas Automáticos de Clasificación (Sorters)

Los sistemas de clasificación automática (*sorters*) son equipos diseñados para recibir un flujo continuo de productos (cajas, paquetes, contenedores y bolsas) y dirigir cada unidad a un destino específico (salida, muelle, ruta de transporte y zona de almacenamiento) basándose en información previamente capturada. Constituyen el corazón de los centros de distribución de alto volumen, permitiendo procesar decenas de miles de unidades por hora con precisión superior al 99,9 %.

#### Clasificación de sorters por mecanismo de desvío:

| Tipo de Sorter                                        | Mecanismo de desvío                              | Velocidad típica            | Aplicación                                  |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|
| Bomba de zapatas (shoe sorter)                        | Zapatas transversales que empujan productos      | 2000 - 6000 unidades/hora   | Cajas de tamaño medio, alta velocidad       |
| Desviador de banda (pop-up wheel sorter)              | Ruedas elevables que desvían producto            | 3000 - 8000 unidades/hora   | Paquetes ligeros, cajas pequeñas            |
| Clasificador de bandejas (tray sorter)                | Bandejas individuales que descargan lateralmente | 6000 - 20 000 unidades/hora | Prendas, productos pequeños, alta velocidad |
| Clasificador de carrusel (loop sorter)                | Carrusel cerrado con bandejas o cintas           | 4000 - 12 000 unidades/hora | Prendas colgadas, productos medianos        |
| Clasificador de inclinación (tilt-tray sorter)        | Bandejas basculantes                             | 6000 - 15 000 unidades/hora | Productos frágiles, repuestos               |
| Clasificador de cinta transversal (cross-belt sorter) | Cintas transversales en carros independientes    | 8000 - 24 000 unidades/hora | Alta velocidad, máxima flexibilidad         |

Tabla 3.3. Comparativa detallada de sistemas de clasificación.

| Tipo                | Principio                               | Productos típicos                       | Rango de velocidades | Ventajas                              | Limitaciones                      |
|---------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Shoe sorter         | Zapatas transversales deslizan producto | Cajas de cartón, bandejas               | 2000 - 6000 uds/h    | Robusto, manejo de cajas pesadas      | Mayor espacio, ruido              |
| Pop-up wheel sorter | Ruedas elevables desvían producto       | Paquetes ligeros, cajas pequeñas        | 3000 - 8000 uds/h    | Compacto, fácil mantenimiento         | Limitado a productos ligeros      |
| Tray sorter         | Bandejas descargan por inclinación      | Prendas, documentos, productos pequeños | 6000 - 20 000 uds/h  | Alta velocidad, productos frágiles    | Requiere bandejas específicas     |
| Cross-belt sorter   | Cintas transversales en carros          | Paquetes de diversas formas             | 8000 - 24 000 uds/h  | Máxima flexibilidad, alto rendimiento | Alta inversión, complejidad       |
| Tilt-tray sorter    | Bandejas basculantes                    | Productos frágiles, repuestos           | 6000 - 15 000 uds/h  | Productos frágiles                    | Velocidad limitada por fragilidad |

### Componentes de un sistema de clasificación:

1. **Sistema de inducción (infeed):** Alimentación de productos al sorter, con control de espaciamiento y orientación.
2. **Sistema de identificación:** Lectura de códigos de barras, RFID o reconocimiento óptico de caracteres (OCR) para determinar destino.
3. **Bucle de clasificación:** Transportador principal donde se realiza el desvío (bucle cerrado o lineal).
4. **Estaciones de desvío:** Puntos de salida donde los productos son dirigidos a sus destinos (muelles, contenedores, carros, etc.).
5. **Sistema de control (WCS):** Software que gestiona la asignación de destinos, optimiza el flujo y registra la trazabilidad.

### Consideraciones de diseño para sorters:

- **Tasa de procesamiento (throughput):** Unidades por hora requeridas, considerando picos estacionales
- **Distribución de destinos:** Número de salidas y distribución espacial

- **Características de productos:** Rango de tamaños, pesos, fragilidad
- **Integración upstream/downstream:** Conexión con sistemas de recepción, picking y expedición
- **Redundancia:** Capacidad de mantener operación ante fallas de componentes críticos

Los sistemas de transporte y clasificación constituyen la infraestructura dinámica que conecta las diferentes áreas funcionales dentro de una instalación logística o productiva. Desde los transportadores mecánicos de banda y rodillos hasta los sistemas autónomos basados en AGV y AMR, cada tecnología ofrece un conjunto específico de capacidades que deben alinearse con los requerimientos operativos de volumen, distancia, flexibilidad e integración.

Los transportadores mecánicos mantienen su relevancia en aplicaciones de flujo continuo y alto volumen, donde la ruta fija y la operación constante justifican la inversión en infraestructura. Su evolución hacia sistemas motorizados de 24 V con control zonificado ha incrementado su eficiencia energética y precisión de control.

Los AGV y AMR representan la convergencia entre el transporte de materiales y la robótica móvil, ofreciendo grados crecientes de autonomía y flexibilidad. Mientras los AGV continúan siendo la solución preferida para aplicaciones con rutas definidas y volúmenes predecibles, los AMR están transformando el transporte interno en entornos dinámicos, donde la adaptabilidad y la coordinación de flota son prioritarias.

La robótica industrial para paletizado y despaletizado ha madurado hasta convertirse en una tecnología estándar en operaciones de alto volumen, ofreciendo productividades consistentes y liberando al personal de tareas repetitivas y ergonómicamente desafiantes. La incorporación de visión 3D y aprendizaje profundo está ampliando las capacidades de estos sistemas hacia aplicaciones de mayor variabilidad.

Finalmente, los sistemas de clasificación automática (*sorters*) constituyen el corazón de los centros de distribución modernos, procesando decenas de miles de unidades por hora con precisión superior al 99,9 %. La selección del tipo de sorter (*shoe*, *cross-belt*, *tray*, etc.) debe basarse en un análisis cuidadoso de las características de los productos, las tasas de procesamiento requeridas y la configuración de destinos.

La correcta selección e integración de estos sistemas requiere un enfoque sistémico que considere no solo las capacidades individuales de cada tecnología, sino su interacción con los procesos upstream (recepción y almacenamiento) y downstream (expedición y transporte externo). Un error en esta selección puede comprometer la capacidad de respuesta de toda la cadena de suministro, subrayando la importancia de una planificación rigurosa y basada en datos en el diseño de sistemas de transporte y clasificación.

# Capítulo 7

---

**Identificación, captura y rastreo de datos:  
códigos de barras, RFID (identificación  
por radiofrecuencia), sus aplicaciones y  
beneficios en la gestión de inventarios**

## **4.1 Introducción a los sistemas de identificación automática**

La capacidad de identificar, capturar y rastrear datos de materiales y productos a lo largo de la cadena de suministro constituye un pilar fundamental del manejo de materiales moderno. Los sistemas de identificación automática (Auto-ID) permiten registrar información sobre los objetos sin intervención manual, reduciendo errores, aumentando la velocidad de procesamiento y proporcionando visibilidad en tiempo real de los flujos de materiales. Estas tecnologías transforman los objetos físicos en nodos de información dentro de la cadena de suministro digitalizada, habilitando la trazabilidad completa desde la recepción de materias primas hasta la entrega al cliente final.

La evolución de los sistemas de identificación ha transitado desde los códigos de barras ópticos, que revolucionaron la gestión de inventarios en las décadas de 1970 y 1980, hacia las tecnologías de identificación por radiofrecuencia (RFID), que ofrecen capacidades superiores de lectura simultánea, mayor distancia de lectura y la posibilidad de almacenar y actualizar información dinámicamente en las etiquetas. Ambas tecnologías coexisten en la actualidad, complementándose según los requerimientos específicos de cada aplicación.

Esta sección aborda de manera sistemática los principios de operación, características técnicas, aplicaciones y beneficios de los sistemas de códigos de barras y RFID en el contexto del manejo de materiales y la gestión de inventarios, proporcionando al profesional las herramientas para seleccionar e implementar la tecnología más adecuada según sus necesidades operativas.

## 4.2 Códigos de barras: fundamentos y aplicaciones

### Principios de operación

El código de barras es un sistema de identificación óptico que codifica información en un patrón de barras paralelas de diferentes anchos y espacios, legible mediante un escáner láser o lector de imagen. La información contenida típicamente incluye el número de identificación del producto (SKU), número de lote, fecha de fabricación y otros datos relevantes para la gestión.

### Componentes del sistema de código de barras:

- **Etiqueta o impresión:** Símbolo impreso con el patrón de barras y espacios, generalmente acompañado de caracteres legibles por humanos.
- **Lector (scanner):** Dispositivo que emite un haz de luz (láser o LED) y detecta la luz reflejada, interpretando los patrones de barras.
- **Decodificador:** Procesa la señal eléctrica generada por el lector y la convierte en datos digitales.
- **Sistema host:** Software (WMS y ERP) que recibe y procesa los datos capturados.

### Principales simbologías de códigos de barras:

| Simbología  | Tipo               | Capacidad                           | Aplicación típica                                     |
|-------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| EAN-13      | Lineal (1D)        | 13 dígitos numéricos                | Productos de consumo minorista (estándar global)      |
| UPC-A       | Lineal (1D)        | 12 dígitos numéricos                | Productos en Norteamérica                             |
| Code 128    | Lineal (1D)        | Alfanumérica variable               | Logística, identificación de unidades de carga (SSCC) |
| Code 39     | Lineal (1D)        | Alfanumérica variable               | Aplicaciones industriales, identificación de activos  |
| Data Matrix | Bidimensional (2D) | Hasta 2335 caracteres alfanuméricos | Piezas pequeñas, industria automotriz, aeroespacial   |
| QR Code     | Bidimensional (2D) | Hasta 4296 caracteres alfanuméricos | Marketing, trazabilidad, aplicaciones con smartphones |

## Aplicaciones en manejo de materiales

Los códigos de barras constituyen la tecnología de identificación más extendida en operaciones de manejo de materiales, con aplicaciones que abarcan:

- **Recepción de materiales:** Escaneo de etiquetas de proveedores para registrar ingreso, verificar pedidos y dirigir materiales a ubicaciones de almacenamiento.
- **Almacenamiento:** Asignación y registro de ubicaciones mediante etiquetas de código de barras en estanterías.
- **Preparación de pedidos (picking):** Verificación de productos seleccionados mediante escaneo, reduciendo errores de preparación.
- **Inventarios cíclicos:** Conteo de ubicaciones mediante escáneres portátiles para mantener precisión de inventario.
- **Expedición:** Escaneo de unidades de carga para confirmar despacho y generar documentación de envío.

### Ventajas del código de barras:

- **Bajo costo por etiqueta:** Menos de US\$0.01 por etiqueta impresa.
- **Estandarización global:** Simbologías reconocidas internacionalmente.
- **Tecnología madura:** Amplia disponibilidad de equipos y experiencia operativa.
- **Implementación sencilla:** No requiere infraestructura compleja.

### Limitaciones:

- **Línea de visión requerida:** El escáner debe tener contacto visual directo con la etiqueta.
- **Lectura individual:** Cada etiqueta debe ser escaneada individualmente.
- **Susceptibilidad a daño:** Etiquetas impresas pueden dañarse o ensuciarse, afectando la legibilidad.
- **Capacidad de datos limitada:** En simbologías 1D es la capacidad restringida a identificadores básicos.



## 4.3 Identificación por radiofrecuencia (RFID)

### Principios de operación

La identificación por radiofrecuencia (RFID) es una tecnología de identificación automática que utiliza ondas de radio para transmitir información almacenada en etiquetas electrónicas (tags) hacia lectores, sin necesidad de contacto físico o línea de visión directa. A diferencia del código de barras, que requiere orientación precisa del escáner hacia la etiqueta, el RFID permite la lectura de múltiples etiquetas simultáneamente, a distancia y a través de materiales no metálicos.

### Componentes fundamentales de un sistema RFID:

| Componente               | Función                                                                     | Características                                                          |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Tag (etiqueta)           | Almacena información y la transmite al lector                               | Compuesto por chip (microprocesador) y antena; puede ser pasiva o activa |
| Lector (reader)          | Emite señales de radiofrecuencia y recibe respuestas de los tags            | Puede ser fijo (puertas, portales) o portátil ( <i>hand-held</i> )       |
| Antena                   | Convierte señales eléctricas en ondas de radio y viceversa                  | Dimensionadas según frecuencia de operación y alcance requerido          |
| Sistema de procesamiento | Gestiona datos, filtra información y comunica con sistemas host (WMS y ERP) | Incluye middleware para integración                                      |

### Clasificación de tags RFID

#### Por fuente de energía:

| Tipo                         | Fuente de energía              | Alcance típico            | Memoria        | Vida útil                  | Costo relativo            |
|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------|----------------------------|---------------------------|
| Pasiva<br>( <i>Passive</i> ) | Energía de la señal del lector | Hasta 3-5 metros<br>(UHF) | 64 bits - 1 KB | Ilimitada<br>(sin batería) | Bajo<br>(\$0.10 - \$0.50) |

| Tipo             | Fuente de energía                      | Alcance típico   | Memoria        | Vida útil                       | Costo relativo      |
|------------------|----------------------------------------|------------------|----------------|---------------------------------|---------------------|
| Semiactiva (BAP) | Batería para chip, comunicación pasiva | 5-10 metros      | 64 bits - 1 KB | 3-5 años                        | Medio (\$1 - \$5)   |
| Activa (Active)  | Batería integrada                      | Hasta 100 metros | Hasta 128 KB   | 3-8 años (batería reemplazable) | Alto (\$10 - \$50+) |

Fuente: Elaboración propia con base en Kloeckner Metals (2021) y Geprom (2022).

Por frecuencia de operación:

| Banda de frecuencia   | Rango típico     | Características                                                          | Aplicaciones                                            |
|-----------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| LF (125-134 kHz)      | Hasta 10 cm      | Resistente a interferencias metálicas/líquidos y baja velocidad de datos | Identificación animal, control de acceso y herramientas |
| HF (13.56 MHz)        | Hasta 1 metro    | Compatible con NFC y velocidad de datos media                            | Tarjetas de pago, bibliotecas y logística de retail     |
| UHF (860-960 MHz)     | 3-10 metros      | Mayor alcance, alta velocidad de lectura, lectura simultánea masiva      | Logística, cadena de suministro, inventarios masivos    |
| Microondas (2.45 GHz) | Hasta 100 metros | Muy alta velocidad, susceptible a interferencias                         | Sistemas de peaje, contenedores intermodales            |

Fuente: Elaboración propia con base en Ciberconta y Control Design (2024)

Ventajas competitivas del RFID en manejo de materiales

**Lectura sin línea de visión:** A diferencia del código de barras, los tags RFID pueden ser leídos a través de cajas, contenedores y embalajes, sin necesidad de que la etiqueta esté orientada hacia el lector. Esta característica permite la verificación automática de contenido de pallets y contenedores sin apertura ni manipulación.

**Lectura simultánea de múltiples tags (bulk reading):** Los sistemas RFID pueden identificar decenas o cientos de etiquetas por segundo, permitiendo el conteo masivo de inventarios sin intervención manual. Un portal RFID puede registrar el ingreso o egreso de un pallet con 50 productos en menos de un segundo, mientras que el escaneo individual de códigos de barras requeriría varios minutos.

**Capacidad de almacenamiento y reescritura de datos:** Los tags RFID pueden almacenar información más allá del simple identificador, incluyendo historial de movimientos, resultados de controles de calidad, fechas de mantenimiento y otros datos relevantes. Además, muchos tags son regrabables, permitiendo actualizar la información a lo largo del ciclo de vida del producto.

**Durabilidad y resistencia ambiental:** Las etiquetas RFID pueden encapsularse en materiales resistentes a humedad, polvo, temperaturas extremas y productos químicos, manteniendo su funcionalidad en entornos industriales adversos donde las etiquetas de código de barras se deterioran rápidamente.

**Trazabilidad en tiempo real:** La integración de sistemas RFID con redes de lectores fijos (portales, puertas) permite localizar materiales en tiempo real dentro de una instalación, proporcionando visibilidad continua del inventario sin necesidad de conteos periódicos.

## 4.4 Aplicaciones en la gestión de inventarios

### Automatización de recepción y expedición

La implementación de portales RFID en muelles de recepción y expedición permite la verificación automática de entradas y salidas de materiales. Cuando un pallet o contenedor atraviesa el portal, el sistema identifica automáticamente todos los productos contenidos, compara con la orden de compra o pedido y actualiza el inventario en tiempo real. Este proceso elimina la necesidad de escaneo individual, reduce tiempos de manipulación y minimiza errores de registro.

**Resultados documentados:**

- Reducción del tiempo de recepción/expedición en un 60-80 %
- Eliminación de errores de entrada/salida de productos
- Actualización de inventario en tiempo real sin intervención manual

**Inventarios automatizados y conteos cíclicos**

La capacidad de lectura simultánea de múltiples tags permite realizar inventarios completos mediante equipos portátiles o sistemas fijos, sin necesidad de escaneo individual de cada ubicación. Los operadores pueden recorrer pasillos con lectores *handheld* que capturan automáticamente todos los tags en su rango de lectura, o utilizar sistemas de lectores fijos que monitorean continuamente el inventario.

*Caso de estudio: Empresa constructora*

Una investigación aplicada en una empresa constructora documentó los siguientes resultados tras implementar RFID:

- Reducción del lead time de toma de inventario en un 89 % (a 2.12 minutos por producto).
- Reducción del tiempo total de gestión operativa de almacén (a 2.385 minutos por producto).
- Ahorro semanal de S/845.75 soles (aproximadamente US\$225)
- Reducción del 75 % en productos no conformes (0,33 % del total expedido).

*Caso de estudio: Kloeckner Metals*

Un fabricante de metales implementó un sistema de localización en tiempo real (RTLS) basado en RFID activa con los siguientes resultados:

- Reducción del tiempo de localización de materiales de 45 a 7 minutos (84 % de mejora).
- Reducción del 11 % en horas extraordinarias.
- Aumento de capacidad en 3 envíos adicionales de camiones por día.
- Periodo de recuperación de inversión: 4 meses (frente a los 16 meses proyectados inicialmente).

## Prevención de pérdidas y seguridad de activos

Los sistemas RFID con funcionalidad de antirobo (Electronic Article Surveillance [EAS]) permiten detectar el movimiento no autorizado de productos etiquetados. Las antenas de puerta emiten una alarma cuando un tag activo atraviesa el perímetro sin haber sido desactivado o registrado para salida. Esta funcionalidad es particularmente valiosa en industrias de alto valor (electrónica, farmacéutica, retail) y en obras de construcción donde herramientas y equipos representan activos críticos.

## Localización y seguimiento en tiempo real (RTLS)

Los sistemas de localización en tiempo real (Real-Time Location Systems [RTLS]) utilizan tags RFID activas o semiactivas para determinar la posición de materiales y equipos dentro de una instalación. Mediante redes de lectores estratégicamente ubicados, el sistema triangula la señal de los tags y reporta su ubicación con precisión de zona o metro.

### Aplicaciones de RTLS:

- **Localización de materiales:** Operadores localizan rápidamente productos sin recorrer pasillos.
- **Gestión de activos:** Seguimiento de herramientas, equipos y contenedores reutilizables.
- **Optimización de flujos:** Análisis de rutas y detección de cuellos de botella.
- **Seguridad de personal:** Localización de operadores en áreas de alto riesgo.

**Tabla 4.1.** *Comparativa de tecnologías de identificación.*

| Característica            | Código de Barras (1D) | Código 2D (Data Matrix, QR) | RFID Pasivo UHF          | RFID Activo |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------|
| Línea de visión requerida | Sí                    | Sí                          | No                       | No          |
| Lectura simultánea        | No                    | No                          | Sí (hasta 200+ tags/seg) | Sí          |

| Característica            | Código de Barras (1D) | Código 2D (Data Matrix, QR)  | RFID Pasivo UHF                     | RFID Activo                  |
|---------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Alcance de lectura        | Contacto - 1 m        | 0.1 - 1 m                    | 3 - 10 m                            | 10 - 100 m                   |
| Capacidad de datos        | 12-20 dígitos         | Hasta 4000 caracteres        | 64 bits - 1 KB                      | Hasta 128 KB                 |
| Capacidad de reescritura  | No                    | No                           | Sí (regrabable)                     | Sí                           |
| Durabilidad               | Baja (papel)          | Baja (papel)                 | Alta (encapsulado)                  | Alta (encapsulado)           |
| Costo por etiqueta        | < US\$0.01            | < US\$0.05                   | US\$0.10 - US\$0.50                 | US\$10 - US\$50+             |
| Infraestructura requerida | Escáneres manuales    | Escáneres manuales o cámaras | Lectores fijos/portátiles y antenas | Red de lectores y middleware |

## 4.5 Integración con sistemas de gestión

### Integración con WMS y ERP

El valor de los sistemas de identificación automática se maximiza cuando se integran con los sistemas de gestión de almacenes (WMS) y planificación de recursos empresariales (ERP). La integración permite:

- **Actualización automática de inventarios:** Cada lectura RFID o escaneo de código de barras actualiza instantáneamente los registros de inventario en el sistema central.
- **Validación de procesos:** El sistema verifica que las operaciones (*picking*, carga, etc.) se realicen sobre los productos correctos, previniendo errores.
- **Trazabilidad completa:** Registro automático de todos los movimientos, creando un historial auditable de cada producto.
- **Indicadores de desempeño:** Los datos capturados alimentan métricas de productividad, precisión y tiempos de ciclo.

## Middleware y gestión de datos

El middleware RFID actúa como capa de intermediación entre los lectores RFID y los sistemas empresariales, realizando funciones críticas:

- **Filtrado de datos:** Elimina lecturas duplicadas o erróneas (*glitch filtering*).
- **Agregación de eventos:** Consolida múltiples lecturas en eventos de negocio significativos.
- **Gestión de dispositivos:** Monitorea el estado de lectores y antenas.
- **Reglas de negocio:** Aplica lógica de negocio a los datos capturados. Ejemplo: activar una alarma si se detecta un tag sin un registro de salida correspondiente.

### 4.6 Factores de éxito y consideraciones de implementación

#### Determinación del problema a resolver

El primer paso en la implementación de sistemas de identificación automática es identificar claramente el problema operativo que se busca resolver. No todas las aplicaciones requieren RFID; el código de barras sigue siendo la solución más costo-efectiva para muchas operaciones. La decisión debe basarse en:

- **Volumen de transacciones:** Alto volumen justifica inversión en automatización.
- **Requerimientos de velocidad:** Lectura masiva requiere RFID.
- **Entorno operativo:** Condiciones adversas favorecen RFID encapsulado.
- **Necesidades de trazabilidad:** Si se requiere historia detallada, RFID regrabable ofrece ventajas.

#### Prueba piloto y escalamiento

La implementación exitosa requiere un enfoque gradual:

1. **Prueba piloto en área delimitada:** Implementar en un pasillo, zona o tipo de producto específico para validar tecnología y procesos.

2. **Evaluación de resultados:** Medir KPIs pre y posimplementación.
3. **Ajuste de configuración:** Optimizar ubicación de antenas, configuración de tags y procesos operativos.
4. **Escalamiento progresivo:** Extender a otras áreas una vez validado el modelo.

## Selección de tags según aplicación

La selección del tag adecuado es crítica para el éxito:

| Aplicación                 | Tag recomendado                                  | Consideraciones                                                    |
|----------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Pallets de madera          | RFID UHF pasivo montado en madera                | Resistencia a impactos, montaje con adhesivo industrial            |
| Productos metálicos        | RFID UHF antimetal                               | Tags con espaciador dieléctrico para evitar interferencia          |
| Contenedores reutilizables | RFID UHF pasivo sobre molde                      | Encapsulado resistente, montaje permanente                         |
| Herramientas de alto valor | RFID UHF pasivo o activo según alcance requerido | Resistencia a aceites, temperaturas                                |
| Productos líquidos         | RFID UHF con diseño específico                   | Tags en HF (13.56 MHz) para productos con alta densidad de líquido |
| Activos en exterior        | RFID activo o UHF pasivo encapsulado             | Resistencia a intemperie, UV, temperaturas extremas                |

## 4.7 Tendencias futuras

### Integración con IoT y sensores

Las etiquetas RFID están evolucionando hacia plataformas de sensores inteligentes, incorporando capacidades de monitoreo ambiental:

- **Sensores de temperatura:** Crítico para cadenas de frío (alimentos y farmacéutica).
- **Sensores de humedad:** Monitoreo de condiciones de almacenamiento.
- **Sensores de vibración/golpes:** Detección de manipulación inadecuada durante el transporte.
- **Sensores de luz:** Detección de apertura no autorizada de contenedores



## Inteligencia artificial y analítica predictiva

La combinación de datos RFID con inteligencia artificial permite:

- **Predicción de demanda:** Basada en patrones históricos de consumo
- **Optimización de rutas de picking:** Basada en ubicación en tiempo real de productos.
- **Mantenimiento predictivo:** Análisis de patrones de uso de equipos etiquetados.

## Estandarización global y costos decrecientes

La adopción masiva de RFID en retail y logística está impulsando:

- **Reducción continua de costos:** Etiquetas UHF pasivas por debajo de US\$0.10 en volúmenes masivos.
- **Estandarización de frecuencias:** Armonización global en banda UHF (860-960 MHz).
- **Interoperabilidad:** Desarrollo de estándares abiertos como RAIN RFID.

Los sistemas de identificación, captura y rastreo de datos constituyen el sistema nervioso del manejo de materiales moderno, proporcionando la visibilidad y precisión necesarias para operaciones logísticas eficientes. Los códigos de barras continúan siendo la solución predominante para aplicaciones de bajo costo y volumen moderado, mientras que la tecnología RFID ofrece capacidades superiores de lectura masiva, alcance extendido y trazabilidad en tiempo real que justifican su inversión en operaciones de alto volumen, entornos adversos y aplicaciones críticas.

La evidencia documentada demuestra que la implementación de RFID puede generar reducciones del 80-90 % en tiempos de localización de materiales, del 70-80 % en tiempos de inventario y periodos de retorno de inversión tan cortos como 4 meses en aplicaciones bien dimensionadas. Estos resultados posicionan a la identificación automática como un habilitador fundamental de la Industria 4.0, conectando el mundo físico de los materiales con los sistemas digitales de gestión.

La correcta selección e implementación de estas tecnologías requiere un enfoque sistemático que considere los requerimientos operativos es-

pecíficos, las características del entorno y la integración con sistemas de gestión existentes. La tendencia hacia etiquetas inteligentes con sensores integrados y la convergencia con IoT e inteligencia artificial prometen expandir aún más las capacidades de estas tecnologías, transformando los materiales en nodos activos de información dentro de la cadena de suministro digitalizada.

# III

---

## Diseño y gestión del sistema

## Introducción

La posesión de conocimientos sobre fundamentos conceptuales y tecnologías encuentra su verdadera aplicación en la fase de diseño e implementación de sistemas integrales de manejo de materiales. Este capítulo aborda la metodología y las consideraciones críticas para transformar los principios teóricos y los componentes tecnológicos en una solución operativa coherente, eficiente y alineada con los objetivos estratégicos de una organización. El diseño de un sistema de manejo de materiales no es una mera suma de equipos, sino un proceso de ingeniería que requiere un análisis sistémico del flujo de materiales, la infraestructura existente y los indicadores de desempeño.

Se presenta un marco metodológico para el diseño de sistemas, partiendo del análisis detallado de los flujos (volumen, variedad, recorrido) y culminando en la evaluación económica de las alternativas propuestas. Se profundiza en la relación simbiótica entre el diseño de la instalación (*layout*) y el sistema de manejo de materiales, demostrando cómo las decisiones sobre uno impactan irrevocablemente en el desempeño del otro. Asimismo, se introducen técnicas para el modelado y simulación de sistemas, herramientas indispensables para predecir el comportamiento de una solución propuesta antes de su implementación física, mitigando así riesgos y optimizando la inversión.

La gestión del sistema instalado constituye la otra faceta esencial de este capítulo. Se examinan los Key Performance Indicators (KPI) específicos para medir la eficacia del manejo de materiales, las estrategias de mantenimiento para garantizar la disponibilidad operativa y la importancia de la integración del sistema con otras plataformas de gestión, como los Sistemas de Gestión de Almacenes (WMS) y los Sistemas de Planificación de Recursos Empresariales (ERP). El capítulo concluye enfatizando la naturaleza dinámica de estos sistemas, que deben ser reevaluados y adaptados continuamente ante cambios en la demanda, la introducción de nuevos productos o la evolución tecnológica.

El dominio de los temas aquí expuestos capacita al profesional para no solo seleccionar un equipo de manera aislada, sino para concebir, justificar y gerenciar un sistema completo que agregue valor tangible a la cadena de suministro, transformando el manejo de materiales de un centro de costo en un facilitador de ventaja competitiva.



# Capítulo 8

---

**Análisis del flujo de materiales: diagramas de flujo, diagramas de recorrido (*from-to chart*), cálculo de volúmenes y distancias**

## 1.1 Introducción al análisis del flujo de materiales

El análisis del flujo de materiales constituye la fase fundamental sobre la cual se construye cualquier sistema eficiente de manejo de materiales. Antes de seleccionar equipos, diseñar almacenes o implementar tecnologías, es necesario comprender en profundidad qué materiales se mueven, en qué cantidades, entre qué puntos, con qué frecuencia y bajo qué restricciones. Este análisis proporciona la base cuantitativa que permite tomar decisiones informadas sobre la configuración del *layout*, la selección de equipos, la ubicación de almacenes y la organización de los procesos.

El flujo de materiales en una instalación productiva o logística puede ser visualizado como la trayectoria que siguen los materiales desde su ingreso (recepción de materias primas o productos) hasta su egreso (expedición de producto terminado o despacho de pedidos). Entre estos puntos extremos, los materiales pueden pasar por múltiples estaciones: almacenamiento temporal, líneas de producción, zonas de control de calidad, áreas de preparación de pedidos, entre otras. La eficiencia global del sistema depende críticamente de la configuración de estos flujos: distancias recorridas, número de manipulaciones, puntos de transferencia y congestión en rutas compartidas.

Las herramientas fundamentales para el análisis de flujos incluyen los diagramas de flujo (que representan la secuencia de operaciones), los diagramas de recorrido o *from-to charts* (que cuantifican los movimientos entre áreas) y los cálculos de volúmenes y distancias (que permiten dimensionar requerimientos de equipos y personal). El dominio de estas herramientas permite al profesional transformar la complejidad operativa en datos estructurados que sustentan decisiones de diseño y mejora.

## 1.2 Diagramas de flujo de materiales

El diagrama de flujo de materiales (*material flow diagram*) es una representación gráfica que muestra la secuencia de operaciones, inspecciones, almacenamientos y movimientos que experimenta un material a lo largo de su recorrido dentro de una instalación. Esta herramienta permite visualizar de manera integral el proceso completo, identificando puntos de acumulación, cuellos de botella, manipulaciones redundantes y oportunidades de simplificación.



## Elementos fundamentales de un diagrama de flujo

La representación gráfica utiliza simbología estandarizada para cada tipo de actividad:

- **Operación (círculo):** Representa un proceso donde el material es transformado, ensamblado, modificado o manipulado intencionalmente. Algunos ejemplos incluyen: corte, ensamble, empaque, etiquetado.
- **Inspección (cuadrado):** Indica un punto donde se verifica la calidad, cantidad o características del material. Incluye controles de calidad, conteos, verificaciones.
- **Almacenamiento (triángulo invertido):** Representa periodos donde el material permanece en reposo dentro del sistema, ya sea en almacén temporal, en proceso o producto terminado.
- **Movimiento (flecha):** Indica el desplazamiento del material entre puntos, ya sea manual o mecanizado.
- **Demora (letra D):** Señala esperas no planificadas, frecuentemente asociadas a cuellos de botella o falta de sincronización entre procesos.

## Metodología de construcción

La elaboración de un diagrama de flujo de materiales comienza con el recorrido físico del material a través de la instalación. El analista sigue la trayectoria de un lote representativo, registrando cada actividad en secuencia, su duración, la distancia recorrida y cualquier observación relevante. Esta observación directa debe complementarse con entrevistas a operadores y supervisores, quienes aportan conocimiento sobre variaciones no observables en un recorrido puntual.

## Aplicación práctica

Un diagrama de flujo bien construido permite identificar rápidamente patrones problemáticos. Por ejemplo, la presencia de múltiples almacenamientos intermedios entre operaciones puede indicar desbalance entre las capacidades de procesos sucesivos. La repetición de movimientos entre las mismas áreas puede sugerir una disposición física inadecuada. La exis-

tencia de puntos de inspección redundantes puede revelar oportunidades de consolidación de controles.

Un caso ilustrativo común en plantas manufactureras es el flujo de materiales que presenta "retrocesos", donde un material debe regresar a un área ya visitada anteriormente. Estos patrones indican una disposición de equipos que no sigue la secuencia lógica del proceso, generando distancias innecesarias que pueden reducirse mediante un rediseño del *layout*.

## **Diagrama de recorrido (Flow Diagram)**

Una variante especialmente útil es el diagrama de recorrido, que superpone la trayectoria del flujo sobre el plano físico de la instalación. Esta representación permite visualizar la relación entre el flujo y la disposición espacial, identificando cruces de rutas, congestión en pasillos y la proximidad o lejanía entre áreas funcionalmente relacionadas. El trazado de múltiples flujos sobre el mismo plano revela patrones de conflicto y oportunidades de reorganización espacial.

### **1.3 Diagrama de recorrido (*from-to chart*)**

El diagrama de recorrido, comúnmente denominado *from-to chart* o matriz de flujo, es una herramienta cuantitativa que resume los movimientos de materiales entre los diferentes departamentos, áreas o estaciones de trabajo dentro de una instalación. A diferencia del diagrama de flujo, que describe la secuencia de un producto específico, el *from-to chart* agrega información sobre todos los movimientos que ocurren en el sistema, permitiendo una visión integral de la intensidad de flujo entre cada par de puntos.

## **Estructura y construcción**

El *from-to chart* se organiza como una matriz cuadrada donde tanto las filas como las columnas representan los mismos centros de trabajo o áreas funcionales. Cada celda (*i*, *j*) contiene una medida del flujo que se origina en el área *i* (origen) y se dirige hacia el área *j* (destino). Esta medida puede expresarse en diferentes unidades según el objetivo del análisis: número de

movimientos por período, peso total transportado, volumen, número de pallets, o frecuencia de viajes.

#### La construcción de un from-to chart requiere:

1. **Identificación de áreas funcionales:** Definir los centros de trabajo relevantes (recepción, almacén de materias primas, áreas de producción, almacén de producto terminado, expedición, etc.).
2. **Registro de movimientos:** Documentar cada transferencia de material entre áreas durante un período representativo (una semana, un mes).
3. **Agregación de datos:** Consolidar los movimientos por par origen-destino, sumando la métrica seleccionada.
4. **Normalización opcional:** Convertir a unidades comparables (ej. viajes equivalentes si se mezclan pallets y cajas pequeñas).

#### Interpretación y aplicación

El *from-to chart* permite identificar patrones de flujo que no son evidentes mediante observación directa. Las celdas con valores elevados indican conexiones intensas que deberían estar físicamente próximas en el para minimizar distancias. Las filas con muchos destinos diferentes pueden sugerir áreas que funcionan como centros de distribución interna. Las columnas con múltiples orígenes pueden indicar puntos de concentración de materiales que requieren capacidad de manejo adecuada.

Un análisis complementario es el cálculo de la "intensidad de flujo bidireccional", que suma los valores de las celdas  $(i, j)$  y  $(j, i)$  para cada par de áreas. Los pares con alta intensidad bidireccional deberían ubicarse en proximidad para minimizar el tránsito entre ellas.

La matriz también permite identificar flujos que siguen patrones de "cruce", donde materiales de áreas A a B cruzan trayectorias con flujos de C a D. Estos cruces representan puntos potenciales de congestión y conflicto que pueden requerir separación de rutas o rediseño del layout.

## 1.4 Cálculo de volúmenes y distancias

El dimensionamiento de un sistema de manejo de materiales requiere cuantificar dos variables fundamentales: los volúmenes de material a mover y las distancias a recorrer. Estas métricas, combinadas, determinan la carga de trabajo total del sistema y permiten dimensionar equipos, personal y capacidad de infraestructura.

### Cálculo de volúmenes de material

La cuantificación de volúmenes debe capturar tanto la magnitud agregada como la variabilidad temporal. Las métricas relevantes incluyen:

- **Tonelaje por período:** Peso total de material movido, fundamental para dimensionar equipos con capacidad limitada por peso.
- **Volumen por período:** Espacio ocupado por los materiales, crítico para dimensionar almacenamiento y capacidad de transportadores.
- **Unidades por período:** Número de piezas, cajas o pallets, útil para dimensionar equipos limitados por cantidad de movimientos.
- **Viajes por período:** Número de desplazamientos requeridos, fundamental para dimensionar flota de montacargas o vehículos autónomos.

El análisis de volúmenes debe distinguir entre promedio, pico normal y pico estacional. Dimensionar para el promedio puede generar capacidad insuficiente durante periodos de alta demanda; dimensionar para el pico absoluto puede resultar en capacidad ociosa durante la mayor parte del tiempo. La decisión debe basarse en la criticidad de la operación y la posibilidad de gestionar picos mediante flexibilidad de horarios o personal temporal.

### Cálculo de distancias y tiempo de recorrido

La distancia total recorrida por los materiales es un indicador clave de eficiencia. Cada metro recorrido implica tiempo, consumo energético, desgaste de equipos y riesgo de daños. El cálculo sistemático de distancias permite establecer líneas base para la mejora y cuantificar los beneficios de cambios en el *layout*.

**La metodología de cálculo depende del nivel de detalle requerido:**

- **Distancias euclidianas:** Línea recta entre puntos, útil para estimaciones preliminares.
- **Distancias rectilíneas (Manhattan):** Suma de desplazamientos horizontales y verticales, apropiada cuando el movimiento se realiza en pasillos ortogonales.
- **Distancias reales:** Medición de rutas efectivas considerando pasillos, obstáculos y restricciones de circulación.

Para una instalación existente, las distancias pueden medirse directamente sobre el plano o mediante seguimiento de equipos con sistemas de posicionamiento. Para una instalación en diseño, se utilizan estimaciones basadas en dimensiones de áreas y configuración de pasillos.

**Cálculo de carga de trabajo total**

La carga de trabajo total del sistema de manejo de materiales se expresa frecuentemente como "tonelada-kilómetro" (*ton-km*) o "pallet-kilómetro", que combina el volumen de material movido con la distancia recorrida. Esta métrica permite comparar alternativas de layout sin considerar el costo específico de equipos o mano de obra.

**Ejemplo ilustrativo:**

Considérese una instalación con tres áreas: Recepción (R), Almacén (A) y Producción (P). Los movimientos diarios son:

- De R a A: 50 pallets
- De A a P: 40 pallets
- De R a P: 10 pallets (materiales que pasan directo a producción)

Las distancias entre áreas (en metros) son: R-A: 80 m, A-P: 60 m, R-P: 120 m.

La carga de trabajo diaria es:

- $R \rightarrow A: 50 \text{ pallets} \times 80 \text{ m} = 4000 \text{ pallet-m}$
- $A \rightarrow P: 40 \text{ pallets} \times 60 \text{ m} = 2400 \text{ pallet-m}$
- $R \rightarrow P: 10 \text{ pallets} \times 120 \text{ m} = 1200 \text{ pallet-m}$
- Total: 7,600 pallet-m por día

Si se propone reubicar el almacén A para reducir la distancia R-A a 40 m, pero la distancia A-P aumenta a 90 m, la nueva carga de trabajo sería:

- $R \rightarrow A$ :  $50 \times 40 = 2000$  pallet-m
- $A \rightarrow P$ :  $40 \times 90 = 3600$  pallet-m
- $R \rightarrow P$ :  $10 \times 120 = 1200$  pallet-m
- Total: 6,800 pallet-m por día.

La mejora neta es de 800 pallet-m diarios (10,5 % de reducción). Este análisis cuantitativo permite evaluar objetivamente alternativas de distribución espacial antes de implementar cambios físicos.

## 1.5 Método de Análisis de Flujo: Enfoque Sistematizado

El análisis del flujo de materiales se beneficia de un enfoque estructurado que combina las herramientas descritas en una secuencia lógica:

### Fase 1: Levantamiento de información

- Identificar todos los productos o familias de productos que circulan por la instalación.
- Definir las áreas funcionales relevantes (recepción, almacenamiento, producción, expedición, etc.).
- Recopilar datos de volúmenes por período (diario, semanal y mensual) y su variabilidad.

### Fase 2: Diagramación de flujos individuales

- Construir diagramas de flujo para cada producto o familia representativa.
- Identificar la secuencia completa de operaciones, inspecciones y almacenamientos.
- Registrar distancias y tiempos observados.

### Fase 3: Agregación y cuantificación

- Consolidar la información en un *from-to chart* que refleje los volúmenes totales entre cada par de áreas.
- Calcular distancias entre centros de trabajo (reales o estimadas según layout).
- Establecer la carga de trabajo total en unidades consistentes (ton-km, pallet-m y viajes).

**Fase 4: Identificación de oportunidades**

- Localizar flujos intensos que justifican proximidad física.
- Identificar patrones de retroceso que sugieren secuencia ineficiente.
- Detectar cruces de flujos que generan congestión.
- Calcular distancias totales recorridas y comparar con benchmarks internos o externos.

**Fase 5: Evaluación de alternativas**

- Proponer cambios en el layout que acerquen áreas con flujos intensos.
- Simular el impacto de las alternativas en términos de reducción de distancias y carga de trabajo.
- Evaluar viabilidad física y económica de los cambios propuestos.

## 1.6 Aplicación en Proyectos de Mejora

El análisis de flujo de materiales no es un ejercicio académico, sino una herramienta de mejora continua. Las oportunidades típicas identificadas mediante este análisis incluyen:

**Reducción de manipulaciones:** Cada transferencia de material entre equipos o áreas representa un punto de costo, riesgo y tiempo. La simplificación de rutas mediante la eliminación de transferencias intermedias genera beneficios significativos. Por ejemplo, la conexión directa entre recepción y producción para materiales de alto consumo elimina el paso intermedio por almacén, reduciendo manipulaciones y liberando espacio.

**Reorganización de layout:** El análisis de flujo frecuentemente revela que la disposición actual de áreas responde a criterios históricos más que a la lógica del flujo actual. La reorganización que sitúa áreas con alta interacción en proximidad reduce drásticamente distancias. En operaciones de preparación de pedidos, la ubicación de productos de alta rotación cerca de las estaciones de embalaje y despacho es un principio fundamental derivado del análisis de flujo.

**Balance de capacidades:** El diagrama de flujo permite visualizar puntos donde la capacidad de una operación es inferior a la de las precedentes, generando acumulaciones y tiempos de espera. El dimensionamiento adecuado de equipos y personal en estos puntos críticos elimina cuellos de botella.

**Separación de flujos:** Cuando diferentes tipos de materiales siguen rutas que se cruzan intensamente, puede ser beneficioso separar físicamente los flujos, asignando pasillos exclusivos o turnos diferenciados. Esto es particularmente relevante cuando coexisten materiales pesados y frágiles, o cuando se manejan productos con requisitos especiales de temperatura o limpieza.

El análisis del flujo de materiales constituye la base cuantitativa sobre la cual se construyen sistemas de manejo eficientes. Las herramientas presentadas —diagramas de flujo, *from-to charts* y cálculos de volúmenes y distancias— permiten transformar la complejidad operativa en datos estructurados que sustentan decisiones de diseño y mejora.

El diagrama de flujo ofrece una visión secuencial del proceso, identificando manipulaciones redundantes, almacenamientos intermedios innecesarios y oportunidades de simplificación. El *from-to chart* proporciona una perspectiva agregada de los flujos entre áreas, revelando patrones de intensidad que orientan la disposición espacial. Los cálculos de volúmenes y distancias cuantifican la carga de trabajo total, permitiendo dimensionar equipos y evaluar objetivamente alternativas de *layout*.

La aplicación sistemática de estas herramientas en proyectos de mejora genera beneficios tangibles: reducción de distancias recorridas, eliminación de manipulaciones innecesarias, balance de capacidades entre procesos y reorganización de *layout* que refleja la lógica del flujo real. En un contexto donde los márgenes de beneficio se comprimen y la eficiencia operativa se vuelve crítica, el dominio del análisis de flujo de materiales constituye una competencia fundamental para el profesional del manejo de materiales.



# Capítulo 9

---

**Diseño de layout y almacenes: relación  
entre el diseño de la instalación y la  
eficiencia del manejo de materiales.  
Principios de almacenamiento (ABC, cross-  
docking)**

## 2.1 Introducción al diseño de *layout*

El diseño de *layout* o distribución de planta constituye una de las decisiones más trascendentales en el ámbito del manejo de materiales, pues determina la configuración espacial sobre la cual se desarrollarán todas las operaciones logísticas y productivas durante la vida útil de la instalación. Un *layout* bien concebido no solo facilita el flujo eficiente de materiales, sino que también impacta en la productividad del personal, la seguridad operativa, la flexibilidad para adaptarse a cambios y, en última instancia, la rentabilidad de la organización. Por el contrario, un *layout* deficiente genera distancias excesivas, congestión, dificultades de supervisión y costos operativos estructuralmente elevados que resultan difíciles de corregir sin inversiones significativas.

La relación entre el diseño de la instalación y la eficiencia del manejo de materiales es directa y proporcional: aproximadamente el 50 % del costo operativo del manejo de materiales está determinado por las decisiones de *layout*, mientras que el resto corresponde a la eficiencia en la ejecución de las operaciones. Esto significa que una instalación mal diseñada condena a las operaciones a una ineficiencia estructural, independientemente del esfuerzo que se invierta en mejorar los procesos.

El diseño de *layout* debe responder a un equilibrio entre múltiples objetivos frecuentemente contrapuestos: maximizar la utilización del espacio, minimizar las distancias de recorrido, facilitar la supervisión, permitir la flexibilidad futura, cumplir con normativas de seguridad y ajustarse a las restricciones del edificio existente o del terreno disponible. La resolución de estas tensiones requiere un enfoque sistemático basado en el análisis de flujos de materiales (desarrollado en la sección anterior), la aplicación de principios de almacenamiento probados y la consideración de las características específicas de los productos y procesos.

## 2.2 Tipos fundamentales de *layout*

La configuración básica de una instalación productiva o logística puede clasificarse en tres tipos fundamentales, cada uno con implicaciones distintas para el manejo de materiales:

**Layout por proceso o funcional:** En esta configuración, equipos y estaciones de trabajo se agrupan según la función que realizan, independientemente del producto específico que procesan. Por ejemplo, todas las operaciones de recepción se concentran en un área, todo el almacenamiento en otra, todas las operaciones de embalaje en otra. Este tipo de *layout* es común en talleres de manufactura variada y en centros de distribución que manejan una amplia gama de productos con diferentes flujos.

**La principal ventaja de esta configuración es su flexibilidad:** los productos pueden seguir rutas diferentes según sus requerimientos específicos. Sin embargo, presenta desventajas significativas para el manejo de materiales: los flujos tienden a ser complejos, con frecuentes retrocesos y cruces; las distancias de recorrido son generalmente mayores; y la gestión de materiales requiere mayor planificación y control.

**Layout por producto o en línea:** En esta configuración, los equipos y estaciones de trabajo se disponen siguiendo la secuencia de operaciones requerida para un producto o familia de productos específicos. Es característico de líneas de ensamble y centros de distribución con flujos predecibles y volúmenes elevados. El flujo de materiales es lineal y continuo, con distancias mínimas entre estaciones sucesivas.

**La ventaja fundamental es la eficiencia en el manejo de materiales:** Los recorridos son cortos y predecibles, los inventarios en proceso se minimizan y la sincronización entre estaciones es más sencilla. La principal limitación es la rigidez: cambios en el producto o en el proceso requieren modificaciones sustanciales en la disposición física.

**Layout por posición fija:** En esta configuración, el material principal (un producto de gran tamaño como un avión, un barco o una edificación) permanece estacionario, mientras que los recursos (operarios, herramientas y materiales) se desplazan hacia él. Aunque es un caso especializado, sus principios influyen en el diseño de ciertas operaciones

logísticas, como el manejo de materiales en obras de construcción o en la preparación de pedidos de gran volumen.

En la práctica, la mayoría de las instalaciones adoptan configuraciones híbridas que combinan elementos de estos tipos básicos, buscando equilibrar flexibilidad y eficiencia según sus necesidades específicas.

### **2.3 Principios de diseño de *layout* para eficiencia en manejo de materiales**

La literatura especializada ha consolidado una serie de principios que guían el diseño de *layout* orientado a la eficiencia del manejo de materiales:

**Principio del flujo continuo:** El flujo de materiales debe ser, en la medida de lo posible, unidireccional, sin retrocesos ni cruces. Las trayectorias ideales son líneas rectas o en forma de "U", que permiten que la recepción y la expedición compartan un mismo frente o estén en extremos opuestos de la instalación. Los patrones de flujo en "Z" o en espiral introducen complejidad innecesaria que debe justificarse por restricciones físicas o funcionales.

**Principio de proximidad:** Las áreas que mantienen una alta intensidad de flujo de materiales deben ubicarse en estrecha proximidad. Este principio, derivado directamente del análisis *from-to chart*, establece que la cercanía física debe ser proporcional a la frecuencia de intercambio entre áreas. La violación de este principio genera distancias innecesarias que se traducen en costos operativos estructuralmente elevados.

**Principio de flexibilidad:** El *layout* debe diseñarse considerando no solo las condiciones actuales, sino también los cambios previsibles en el mix de productos, volúmenes de operación y tecnologías. La flexibilidad puede lograrse mediante la estandarización de módulos de espacio, la utilización de equipos móviles o reconfigurables y la reserva de espacios de expansión.

**Principio de utilización del espacio:** El espacio debe ser utilizado de manera eficiente, aprovechando la dimensión vertical mediante estanterías de altura adecuada, y evitando áreas muertas o pasillos sobredimensionados. Sin embargo, la maximización de la densidad no debe comprometer la accesibilidad ni la seguridad operativa.

**Principio de integración:** El *layout* debe facilitar la integración entre el manejo de materiales y otros sistemas como la gestión de inventarios, el control de calidad y los sistemas de información. Esto implica prever espacios para estaciones de verificación, puntos de captura de datos y conectividad para equipos automatizados.

## 2.4 Principio ABC en almacenamiento

El principio ABC, también conocido como análisis de Pareto o regla 80/20, constituye uno de los conceptos más poderosos en la gestión de almacenes y el diseño de layouts. Este principio establece que, en la mayoría de las operaciones logísticas, un pequeño porcentaje de los productos (típicamente el 20 %) concentra la mayor parte de la actividad (típicamente el 80 % de los movimientos, ventas o rotación). La aplicación de este principio al diseño de layout implica que los productos de alta rotación deben ubicarse en las posiciones de almacenamiento más accesibles y con recorridos más cortos, mientras que los productos de baja rotación pueden relegarse a ubicaciones más alejadas o de menor accesibilidad.

### Clasificación ABC

La clasificación de productos según su rotación o importancia se realiza mediante el análisis de los registros históricos de movimientos, ventas o valor de inventario. Los productos se ordenan de mayor a menor según la métrica seleccionada y se agrupan en tres categorías:

- **Clase A (alta rotación):** Representa típicamente el 10-20 % de los SKU (Stock Keeping Units), pero concentra el 70-80 % de los movimientos o del valor de inventario. Estos productos requieren las ubicaciones más privilegiadas: a nivel de suelo en estanterías, cerca de las áreas de preparación de pedidos o expedición, con accesibilidad máxima.
- **Clase B (rotación media):** Constituye el 20-30 % de los SKU y genera el 15-25 % de los movimientos. Se ubican en posiciones intermedias, accesibles, pero no prioritarias.
- **Clase C (baja rotación):** Abarca el 50-70 % de los SKU, pero solo el 5-15 % de los movimientos. Estos productos pueden ubicarse en posi-

ciones más alejadas, en niveles superiores de estanterías o en sistemas de almacenamiento de alta densidad que priorizan la compactación sobre la accesibilidad.

## **Implementación en el layout**

La aplicación del principio ABC al diseño de layout se manifiesta en la configuración de las zonas de almacenamiento. La zona de mayor accesibilidad, típicamente denominada "zona caliente" o "zona A", se ubica en las posiciones más cercanas a las áreas de preparación de pedidos y expedición. En estanterías selectivas, esto implica asignar los niveles inferiores (altura de cintura a hombro) para productos A, los niveles medios para productos B y los niveles superiores e inferiores extremos para productos C.

En sistemas de almacenamiento de pasillos, la zona A se ubica en los pasillos más cercanos a la salida, mientras que los productos C pueden asignarse a pasillos más alejados. En operaciones de picking por zonas, el principio ABC justifica la creación de una zona dedicada a productos de alta rotación, con equipos y procesos optimizados para máxima productividad.

## **Dinamismo del ABC**

Una consideración crítica es que la clasificación ABC no es estática. Los patrones de rotación cambian con las temporadas, las promociones, la introducción de nuevos productos y la obsolescencia de otros. Un diseño de layout efectivo debe prever mecanismos para la reubicación periódica de productos según su clasificación actualizada. Esto puede lograrse mediante:

- **Almacenamiento aleatorio con asignación dinámica:** El sistema de gestión de almacenes (WMS) asigna ubicaciones basándose en la clasificación actual de cada producto, optimizando la ubicación en cada recepción.
- **Zonificación flexible:** Áreas de almacenamiento con límites no fijos que permiten expandir o contraer las zonas A, B y C según las necesidades.
- **Revisión periódica:** Reclasificación formal de productos cada cierto período (mensual, trimestral) con reubicación correspondiente.

## 2.5 Cross-Docking: principio y aplicación

El *cross-docking* constituye una estrategia de manejo de materiales que busca eliminar el almacenamiento tradicional, transformando el centro de distribución en un punto de transferencia donde los productos entrantes se consolidan y redirigen hacia la expedición con un tiempo de permanencia mínimo, típicamente inferior a 24 horas. Esta estrategia representa una ruptura radical con el modelo tradicional de almacenamiento, donde los productos ingresan, se almacenan por períodos variables y posteriormente se recuperan para su despacho.

### Fundamento conceptual

El *cross-docking* se basa en la premisa de que el almacenamiento es un costo que solo debe incurrirse cuando es estrictamente necesario para sincronizar la oferta y la demanda. En cadenas de suministro bien sincronizadas, los productos pueden fluir desde los proveedores hacia los clientes sin detenerse en almacenes intermedios. El centro de *cross-docking* actúa como un nodo de consolidación y redistribución, donde las cargas entrantes se desconsolidan, se clasifican y se reconsolidan en cargas salientes con destinos comunes.

### Tipos de cross-docking:

| Tipo                                        | Descripción                                                                                            | Aplicación                                                         |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <i>Cross-docking</i> continuo               | Los productos fluyen directamente desde la recepción hacia la expedición sin almacenamiento intermedio | Distribución de productos perecederos y operaciones justo a tiempo |
| <i>Cross-docking</i> con consolidación      | Productos de múltiples proveedores se consolidan en envíos hacia clientes comunes                      | Centros de distribución de retail y e-commerce                     |
| <i>Cross-docking</i> con clasificación      | Productos se clasifican por destino durante el tránsito                                                | Operaciones de paquetería y correo                                 |
| <i>Cross-docking</i> de <i>pre-ensamble</i> | Componentes se consolidan para formar kits o ensambles completos antes del envío                       | Industria automotriz y manufactura                                 |

## Requisitos para *cross-docking* efectivo

La implementación exitosa del *cross-docking* requiere condiciones específicas que deben considerarse en el diseño del *layout*:

- **Sincronización de flujos:** Los horarios de recepción y expedición deben estar estrechamente coordinados para minimizar los tiempos de espera. Esto implica una planificación avanzada de citas y una alta confiabilidad en los tiempos de tránsito de proveedores.
- **Información anticipada:** El centro de *cross-docking* debe recibir información detallada sobre los productos entrantes (contenido, dimensiones y destinos) antes de su llegada física, para planificar las asignaciones de muelles y las rutas de flujo.
- **Capacidad de clasificación:** El sistema de manejo de materiales debe tener la capacidad de recibir productos en unidades de carga entrantes, desconsolidarlos si es necesario y reclasificarlos hacia los destinos salientes con la velocidad adecuada.
- **Layout específico:** La configuración física de un centro de *cross-docking* es distintiva: los muelles de recepción y expedición se ubican en lados opuestos del edificio (configuración en "I") o en lados adyacentes (configuración en "L"), con un área central de clasificación que conecta ambos flujos.

## Implicaciones para el manejo de materiales

El *cross-docking* transforma radicalmente los requerimientos de manejo de materiales en comparación con un almacén tradicional. Los equipos deben estar dimensionados para manejar picos de actividad concentrados, ya que los productos no permanecen en la instalación para suavizar la demanda. Los sistemas de clasificación (*sorters*) son componentes críticos, y su capacidad debe estar alineada con los volúmenes máximos de recepción y expedición. Los transportadores y sistemas de desvío deben permitir el flujo continuo desde la recepción hacia la clasificación y de allí a la expedición, con mínimos puntos de transferencia.



## Beneficios documentados

La adopción del cross-docking genera beneficios significativos cuando se implementa en condiciones adecuadas:

- **Reducción de costos de almacenamiento:** Eliminación o reducción drástica del espacio destinado a almacenamiento.
- **Disminución de inventarios:** Menor necesidad de inventarios de seguridad al reducir los tiempos de tránsito.
- **Reducción de manipulaciones:** Menor número de toques al producto al eliminar el almacenamiento y recuperación.
- **Mejora en tiempos de respuesta:** Ciclos de pedido más cortos al eliminar el tiempo de almacenamiento.
- **Reducción de riesgos:** Menor exposición a daños, obsolescencia y pérdidas asociadas al almacenamiento prolongado.

## 2.6 Integración del análisis de flujo, principio ABC y Cross-Docking en el diseño

El diseño de layout para una instalación logística o productiva no procede de la aplicación aislada de principios, sino de su integración sistemática. Un proceso estructurado de diseño podría seguir esta secuencia:

### Fase 1: Caracterización del negocio y los productos

- Definir la misión de la instalación (almacenamiento puro, distribución, *cross-docking* y manufactura).
- Identificar las familias de productos con sus características (dimensiones, peso, fragilidad y rotación).
- Establecer los volúmenes actuales y proyectados, así como la variabilidad estacional.

### Fase 2: Análisis de flujo de materiales

- Construir diagramas de flujo para cada familia representativa.
- Elaborar el *from-to chart* consolidado con los volúmenes de movimiento entre áreas.
- Calcular distancias y carga de trabajo en configuración inicial.

**Fase 3: Aplicación de principios de almacenamiento**

- Clasificar productos según principio ABC utilizando datos de rotación.
- Definir la estrategia de almacenamiento (selectiva, alta densidad y *cross-docking*) para cada categoría.
- Determinar la ubicación de las zonas de almacenamiento en relación con áreas de recepción y expedición.

**Fase 4: Configuración del layout**

- Seleccionar la forma general del edificio (rectangular, en L y en U) según flujos predominantes.
- Ubicar áreas con alta interacción en proximidad según *from-to chart*.
- Definir pasillos principales y secundarios, con anchos adecuados al equipamiento.
- Ubicar estaciones de trabajo auxiliares (control de calidad, embalaje, etc.) en puntos estratégicos del flujo.

**Fase 5: Evaluación de alternativas**

- Simular el flujo de materiales en las alternativas de layout propuestas.
- Calcular distancias totales y carga de trabajo para cada alternativa.
- Evaluar inversión requerida y beneficios esperados.
- Seleccionar la alternativa que optimice el equilibrio entre eficiencia de flujo, flexibilidad e inversión.

## **2.7 Consideraciones de flexibilidad y adaptabilidad**

Un aspecto crítico en el diseño de *layout* es la consideración de la flexibilidad futura. Las condiciones de negocio cambian: nuevos productos, variaciones en volúmenes, tecnologías emergentes, consolidaciones de operaciones. Un *layout* que hoy es óptimo puede volverse obsoleto si no incorpora capacidad de adaptación.

**Las estrategias para incorporar flexibilidad en el diseño incluyen:**

- **Estandarización de módulos:** Diseñar el *layout* sobre una cuadrícula modular que permita reconfigurar áreas sin afectar la estructura general.
- **Dimensionamiento de pasillos:** Utilizar anchos de pasillo que permitan el paso de diferentes tipos de equipos, incluso si hoy se utilizan equipos más pequeños.

- **Infraestructura de datos:** Incorporar desde el diseño la infraestructura de comunicaciones y energía necesaria para futuras automatizaciones.
- **Reserva de espacio:** Prever áreas de expansión identificadas como "espacio blanco" que puedan activarse según necesidades.
- **Equipos móviles:** Preferir equipos móviles (montacargas y AGV) sobre sistemas fijos (transportadores) cuando la flexibilidad es prioritaria.

El diseño de layout constituye una de las decisiones más estratégicas en el ámbito del manejo de materiales, determinando la eficiencia estructural de las operaciones para toda la vida útil de la instalación. La relación entre *layout* y eficiencia del manejo de materiales es directa y proporcional: un diseño que respeta el flujo natural de los materiales, que ubica en proximidad las áreas con alta interacción y que aplica principios como la clasificación ABC, genera ventajas operativas que difícilmente pueden compensarse con mejoras en la ejecución.

El análisis de flujo de materiales, desarrollado en la sección anterior, proporciona la base cuantitativa para el diseño de *layout*. El *from-to chart* revela las intensidades de intercambio entre áreas, orientando las decisiones de ubicación. Los diagramas de flujo permiten visualizar la secuencia deseada, guiando la configuración de las rutas.

La aplicación del principio ABC al almacenamiento asegura que los productos de mayor rotación reciban las ubicaciones más accesibles, maximizando la productividad de las operaciones de preparación de pedidos. Esta clasificación, aunque debe ser dinámica, proporciona un ordenamiento básico que orienta la zonificación del almacén.

El *cross-docking* representa una estrategia avanzada que transforma radicalmente los requerimientos de layout y manejo de materiales, priorizando el flujo continuo sobre el almacenamiento. Su implementación requiere condiciones específicas de sincronización, información y capacidad de clasificación, pero ofrece beneficios sustanciales en reducción de costos de inventario y tiempos de respuesta.

La integración de estos principios en un proceso sistemático de diseño permite crear instalaciones que no solo son eficientes en el momento de su puesta en marcha, sino que mantienen su capacidad de adaptación a lo largo

del tiempo, constituyendo una ventaja competitiva sostenible para las organizaciones que operan en entornos logísticos dinámicos y exigentes.

# Capítulo 10

---

**Selección y evaluación económica de equipos: Criterios de selección, análisis de inversión y costo total de propiedad**

### **3.1 Introducción a la selección de equipos**

La selección de equipos para el manejo de materiales constituye una de las decisiones de mayor impacto económico en el diseño de sistemas logísticos y productivos. A diferencia de otros componentes de la operación, los equipos representan inversiones de capital significativas que comprometen recursos financieros por períodos prolongados y cuya elección incorrecta genera costos operativos estructuralmente elevados durante toda su vida útil. La decisión de selección no puede basarse únicamente en el precio de adquisición, sino que requiere un análisis integral que considere la adecuación técnica a los requerimientos operativos, la compatibilidad con los sistemas existentes, los costos de operación y mantenimiento, y la flexibilidad para adaptarse a cambios futuros.

El proceso de selección de equipos se enmarca dentro de un contexto más amplio de diseño del sistema de manejo de materiales. Una vez definidos los flujos, los volúmenes, las distancias y las características de las cargas (secciones anteriores), el profesional debe identificar las alternativas tecnológicas que pueden satisfacer los requerimientos funcionales y proceder a su evaluación comparativa. Esta evaluación combina criterios técnicos, que determinan la viabilidad de cada alternativa, con criterios económicos, que determinan su conveniencia financiera.

La presente sección desarrolla los criterios fundamentales para la selección de equipos, los métodos de análisis de inversión (CAPEX) y costos operativos (OPEX), y el enfoque de costo total de propiedad (TCO) que integra ambas dimensiones en una evaluación integral.

### **3.2 Criterios técnicos de selección**

La selección de equipos de manejo de materiales debe comenzar con una evaluación rigurosa de los criterios técnicos que determinan la viabilidad y adecuación de cada alternativa a las necesidades específicas de la operación. Estos criterios se organizan en torno a tres dimensiones fundamentales: capacidad, versatilidad y características operativas.

## Capacidad

La capacidad de un equipo se refiere a su aptitud para manejar las cargas requeridas en términos de peso, dimensiones y volumen. Este criterio es el más restrictivo, pues un equipo con capacidad insuficiente simplemente no puede realizar la tarea requerida, mientras que un equipo sobredimensionado incurre en costos de adquisición y operación innecesarios.

La evaluación de capacidad debe considerar múltiples dimensiones. La capacidad de carga nominal indica el peso máximo que el equipo puede levantar o transportar en condiciones estándar. Sin embargo, este valor nominal debe ajustarse según las condiciones reales de operación: la altura de elevación afecta la capacidad de los montacargas mediante el principio del momento de carga, donde el peso máximo admisible disminuye a medida que aumenta la altura de elevación. La distancia del centro de carga respecto al punto de apoyo también influye, requiriendo que las cargas se mantengan dentro de los límites establecidos por la curva de capacidad del fabricante.

Para equipos de transporte continuo como transportadores, la capacidad se expresa en términos de tasa de flujo (unidades por hora) y debe evaluarse tanto en condiciones promedio como en condiciones pico. La capacidad de acumulación —la capacidad del sistema para absorber variaciones sin detener el flujo— es igualmente relevante en operaciones con variabilidad inherente.

## Versatilidad y flexibilidad

La versatilidad se refiere a la capacidad del equipo para realizar múltiples tipos de tareas o manejar diferentes tipos de cargas. Un montacargas contrapesado convencional puede realizar tanto tareas de carga y descarga como de almacenamiento y abastecimiento de líneas, mientras que un equipo especializado como un Very Narrow Aisle (VNA) está optimizado para una tarea específica y tiene utilidad limitada fuera de ella.

La flexibilidad, concepto relacionado pero distinto, alude a la capacidad del equipo para adaptarse a cambios en las condiciones operativas. Esta dimensión es particularmente relevante en entornos caracterizados por alta variabilidad en volúmenes, mix de productos o procesos. Los equi-

pos móviles como montacargas ofrecen alta flexibilidad, pues pueden ser reasignados a diferentes tareas según las necesidades del momento. Los sistemas fijos como transportadores o AS/RS ofrecen alta eficiencia para tareas estables, pero baja flexibilidad para adaptarse a cambios.

La decisión entre equipos especializados y equipos versátiles implica una compensación fundamental. Los equipos especializados generalmente ofrecen mayor eficiencia y productividad en su tarea específica, pero generan rigidez. Los equipos versátiles ofrecen menor eficiencia unitaria, pero mayor capacidad de adaptación. La elección debe basarse en la predictibilidad de las condiciones operativas y la importancia estratégica de la flexibilidad.

## **Características operativas**

Más allá de la capacidad y versatilidad, existen características operativas que determinan la adecuación del equipo al entorno específico:

La maniobrabilidad define la capacidad del equipo para operar en espacios confinados, expresada mediante el radio de giro y el ancho de pasillo requerido. En instalaciones con restricciones espaciales, este criterio puede ser determinante para la viabilidad de ciertas alternativas.

La velocidad de desplazamiento y elevación impacta directamente en la productividad del equipo. Sin embargo, las velocidades nominales deben evaluarse en conjunto con las distancias reales de recorrido y la frecuencia de paradas, pues en aplicaciones con distancias cortas y movimientos frecuentes, la aceleración y desaceleración son más relevantes que la velocidad máxima.

La fuente de energía define no solo los costos operativos, sino también la aplicabilidad en diferentes entornos. Los equipos eléctricos son preferidos en operaciones indoor por su operación silenciosa y nula emisión de gases, pero requieren infraestructura de carga y gestión de baterías. Los equipos de combustión interna ofrecen mayor autonomía y potencia continua, pero generan emisiones que limitan su uso en espacios cerrados.

La ergonomía y seguridad constituyen criterios que, aunque no afectan directamente la capacidad productiva, impactan en la sostenibilidad de la operación a través de la fatiga del operador, la incidencia de lesiones y la moral del personal. La selección debe considerar características como accesibilidad de mandos, visibilidad desde el puesto de operación, amortiguación de vibraciones y sistemas de protección activa y pasiva.



La confiabilidad y mantenibilidad determinan la disponibilidad operativa del equipo a lo largo de su vida útil. Equipos con menor costo inicial pueden tener mayor frecuencia de fallas o mayores costos de mantenimiento, afectando la continuidad operativa.

### **3.3 Análisis de inversión (CAPEX)**

El Capital Expenditure (CAPEX) representa la inversión inicial requerida para la adquisición e implementación de un equipo o sistema de manejo de materiales. Este análisis debe ir más allá del precio de compra para incorporar todos los costos necesarios para poner el equipo en condiciones de operación productiva.

#### **Componentes del CAPEX**

La inversión inicial de un equipo de manejo de materiales comprende diversos componentes que deben ser identificados y cuantificados para cada alternativa evaluada. El precio de adquisición del equipo constituye el componente más visible, pero no necesariamente el de mayor impacto en la decisión final. A este se suman los costos de instalación y puesta en marcha, que pueden ser significativos, especialmente en sistemas fijos como transportadores o AS/RS, donde la infraestructura asociada (obras civiles, adecuaciones eléctricas y sistemas de control) puede igualar o superar el costo del equipo en sí.

Los costos de adecuación de infraestructura incluyen modificaciones al piso (nivelación, recubrimientos, anclajes), adecuaciones eléctricas (subestaciones, cableado y sistemas de carga de baterías) y modificaciones estructurales (ampliación de puertas y refuerzos estructurales). En proyectos de automatización, los costos de software (licencias de sistemas de control, integración con WMS/ERP y desarrollo de interfaces) representan un componente significativo que frecuentemente se subestima en las evaluaciones iniciales.

Los costos de capacitación del personal operador y de mantenimiento deben ser incluidos en el análisis, pues la curva de aprendizaje y la competencia técnica del personal afectan tanto la productividad inicial como la confiabilidad a largo plazo.

## **Métodos de evaluación de inversiones**

La evaluación económica de alternativas de equipamiento requiere la aplicación de métodos de análisis de inversiones que permitan comparar flujos de efectivo que ocurren en diferentes momentos. Los métodos más utilizados en el contexto de manejo de materiales son:

El período de recuperación (payback) mide el tiempo necesario para que los ahorros operativos generados por la inversión igualen el monto invertido. Es un método simple y ampliamente utilizado por su facilidad de comunicación, pero presenta la limitación de no considerar los flujos de efectivo más allá del período de recuperación ni el valor del dinero en el tiempo. A pesar de estas limitaciones, el payback es frecuentemente utilizado como filtro inicial en proyectos de automatización, donde se establece un período máximo de recuperación (típicamente 3 a 5 años) para considerar la inversión viable.

El valor actual neto (VAN) supera las limitaciones del payback al considerar todos los flujos de efectivo a lo largo de la vida útil del proyecto y descontarlos a su valor presente mediante una tasa de descuento que refleja el costo de capital de la organización. El VAN representa la riqueza neta generada por el proyecto en términos actuales. Un VAN positivo indica que la inversión genera un retorno superior al costo de capital y, por tanto, es económicamente viable.

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de descuento que hace que el VAN del proyecto sea igual a cero. Representa la rentabilidad efectiva del proyecto y puede compararse con la tasa de retorno requerida por la organización. Una TIR superior al costo de capital indica que el proyecto es viable.

En la práctica, estos métodos se utilizan de manera complementaria. El VAN proporciona una medida absoluta de creación de valor, mientras que la TIR ofrece una medida relativa de rentabilidad comparable entre proyectos de diferente escala. El payback complementa estos análisis con una medida de riesgo asociada al tiempo de recuperación de la inversión.

### **3.4 Costos operativos (OPEX)**

El Operational Expenditure (OPEX) comprende todos los costos recurrentes asociados a la operación y mantenimiento del equipo a lo largo de su vida útil. En muchos casos, los costos operativos acumulados a lo

largo de la vida del equipo superan ampliamente la inversión inicial, lo que subraya la importancia de su evaluación rigurosa.

## **Componentes del OPEX**

La mano de obra constituye el componente de costo operativo más significativo en equipos manuales y mecanizados. La evaluación debe considerar no solo el número de operadores requeridos, sino también su nivel de calificación, los costos de capacitación continua y el impacto en productividad asociado a la fatiga y el ausentismo. En sistemas automatizados, la mano de obra se desplaza hacia actividades de supervisión y mantenimiento de mayor calificación.

El consumo energético varía significativamente entre tecnologías. Los equipos eléctricos tienen costos energéticos variables según el tipo de batería (plomo-ácido e ion-litio), la eficiencia del sistema de carga, y los patrones de uso. Los equipos de combustión interna tienen costos asociados al combustible (diésel, gas LP y gasolina) y al consumo en ralentí, que puede representar una proporción significativa del consumo total en operaciones con tiempos de espera.

El mantenimiento incluye tanto las actividades preventivas programadas como las correctivas no programadas. Los costos de mantenimiento se estiman típicamente como un porcentaje del valor de adquisición anual (comúnmente entre 3 % y 10 % para equipos convencionales, pudiendo ser mayor para sistemas complejos). La disponibilidad de refacciones, los tiempos de reparación y la necesidad de equipos de respaldo deben ser considerados en el análisis.

Los consumibles incluyen neumáticos (para equipos con ruedas de goma), lubricantes, filtros, baterías de repuesto (en equipos eléctricos) y elementos de desgaste como horquillas y rodillos. El seguro y los impuestos varían según la jurisdicción y deben ser incluidos en el análisis comparativo.

## **Perfil de costos por tipo de equipo**

Los diferentes tipos de equipos presentan perfiles de costos característicos. Los equipos manuales (transpaletas manuales y carros) tienen baja inversión inicial, costos operativos reducidos (principalmente mano de obra y mantenimiento básico), pero productividad limitada. Los equipos

mecanizados convencionales (montacargas eléctricos o de combustión) presentan inversión moderada, costos operativos significativos en energía, mantenimiento y mano de obra, pero alta productividad. Los sistemas automatizados (AS/RS, AGV y *sorters*) tienen inversión inicial elevada, costos operativos relativamente bajos en mano de obra directa, pero mayores en mantenimiento especializado y energía.

La decisión entre estas categorías implica evaluar si el incremento de productividad y la reducción de costos operativos variables justifican la mayor inversión inicial.

### 3.5 Costo total de propiedad (TCO)

El enfoque de costo total de propiedad (*Total Cost of Ownership* [TCO]) integra los componentes de inversión inicial (CAPEX) y costos operativos (OPEX) en una métrica única que refleja el costo total de adquirir, operar y mantener un equipo a lo largo de su vida útil. Este enfoque es particularmente relevante en la selección de equipos de manejo de materiales, donde las diferencias en eficiencia energética, confiabilidad y mantenimiento pueden tener un impacto económico superior a las diferencias en precio de adquisición.

#### Componentes del TCO

El TCO se estructura en tres horizontes temporales:

- Los costos de adquisición e implementación comprenden el precio de compra, los impuestos, los costos de transporte y entrega, la instalación y puesta en marcha, las adecuaciones de infraestructura y la capacitación inicial. Estos costos se incurren principalmente antes del inicio de operación.
- Los costos operativos recurrentes incluyen la mano de obra operativa, el consumo energético, el mantenimiento preventivo y correctivo, los consumibles y los seguros. Estos costos se incurren durante toda la vida útil del equipo.
- Los costos de disposición final incluyen el valor de rescate del equipo al final de su vida útil (valor residual) y los costos de desmantelamiento y disposición ambientalmente responsable.

## Cálculo del TCO

El cálculo del TCO requiere proyectar todos los flujos de efectivo asociados al equipo a lo largo de su vida útil y actualizarlos a valor presente utilizando una tasa de descuento adecuada. La fórmula básica del TCO puede expresarse como:

$$\text{TCO} = \text{Inversión Inicial} + \sum (\text{Costos Operativos Anuales} / (1 + r)^t) - \text{Valor Residual} / (1 + r)^n$$

Donde  $r$  es la tasa de descuento,  $t$  es el año de operación y  $n$  es la vida útil del equipo en años.

## Aplicación en selección de equipos

La aplicación del TCO en la selección de equipos de manejo de materiales permite comparar alternativas que pueden tener estructuras de costo muy diferentes. Un equipo con menor precio de compra, pero mayor consumo energético y mayor frecuencia de mantenimiento, puede resultar más costoso en términos de TCO que un equipo con mayor inversión inicial, pero menor costo operativo.

Un ejemplo ilustrativo en la selección de montacargas muestra cómo este análisis puede alterar la decisión aparente. Considérese la comparación entre un montacargas eléctrico de batería de ion-litio y un montacargas de combustión interna a gas LP para una operación de dos turnos diarios (16 horas). El equipo eléctrico tiene un precio de compra superior en aproximadamente un 30 %, pero su costo energético por hora es inferior en un 60 % y sus costos de mantenimiento son inferiores en un 40 %. Adicionalmente, el equipo eléctrico tiene una vida útil esperada mayor (12 años frente a 10 años) y un valor residual superior. Evaluado únicamente por el precio de compra, el equipo de combustión parece más económico. Sin embargo, al proyectar los costos totales a lo largo de la vida útil y descontarlos a valor presente, el equipo eléctrico frecuentemente presenta un TCO inferior, especialmente en operaciones de alta intensidad de uso.

## **Consideraciones adicionales en el análisis TCO**

El análisis TCO debe incorporar consideraciones que van más allá de los costos directos. La disponibilidad operativa (uptime) afecta la capacidad productiva y puede tener costos asociados a pérdida de ventas o incumplimiento de pedidos. Equipos con mayor confiabilidad reducen estos costos indirectos. La flexibilidad para adaptarse a cambios en la demanda o en el mix de productos tiene valor económico que debe ser considerado, aunque su cuantificación es más compleja. La ergonomía y seguridad impactan en la productividad a través de la fatiga del operador y en los costos asociados a accidentes laborales. La eficiencia energética y las emisiones tienen implicaciones en términos de cumplimiento normativo y sostenibilidad que, aunque no siempre se reflejan directamente en costos, son relevantes en la decisión.

## **Limitaciones del enfoque TCO**

A pesar de sus ventajas, el análisis TCO presenta limitaciones que deben ser reconocidas. La proyección de costos operativos a lo largo de múltiples años implica incertidumbre significativa, especialmente en horizontes de 10 a 15 años típicos de equipos de manejo de materiales. Las variaciones en los precios de la energía, los costos de mantenimiento y las tasas de utilización pueden afectar significativamente los resultados. Adicionalmente, el análisis TCO no captura completamente los beneficios intangibles como la flexibilidad, la capacidad de respuesta y la satisfacción del personal, que pueden ser determinantes en contextos competitivos.

Por estas razones, el TCO debe ser utilizado como una herramienta de análisis que informa la decisión, no como un criterio único que la determina automáticamente. La decisión final debe integrar los resultados del análisis TCO con consideraciones estratégicas, operativas y de riesgo que pueden no estar completamente reflejadas en los flujos de efectivo proyectados.

## **3.6 Proceso sistemático de selección**

La integración de los criterios técnicos y económicos en un proceso sistemático de selección de equipos puede estructurarse en las siguientes etapas:

**Definición de requerimientos funcionales:** Especificar en términos cuantitativos las tareas que el equipo debe realizar: volúmenes, distancias, características de carga, frecuencia, entorno operativo y restricciones de espacio.

**Identificación de alternativas tecnológicas:** Identificar las categorías de equipos que pueden satisfacer los requerimientos funcionales, desde soluciones manuales hasta sistemas automatizados.

**Preselección por criterios técnicos:** Evaluar cada alternativa contra los requerimientos funcionales, eliminando aquellas técnicamente inviables. En esta etapa se consideran capacidad, maniobrabilidad, compatibilidad con infraestructura existente y cumplimiento normativo.

**Estimación de costos:** Para cada alternativa viable, estimar la inversión inicial (CAPEX) y los costos operativos anuales (OPEX) para la vida útil esperada, utilizando datos del fabricante, referencias de instalaciones similares y experiencia operativa.

**Evaluación económica:** Calcular el TCO de cada alternativa, complementado con indicadores financieros (VAN, TIR y payback) para evaluar la viabilidad y comparar alternativas.

**Análisis de sensibilidad:** Evaluar cómo varían los resultados ante cambios en supuestos clave: tasa de utilización, precios de energía, costos de mantenimiento y vida útil. Este análisis identifica las alternativas más robustas ante la incertidumbre.

**Evaluación de factores intangibles:** Considerar aspectos no capturados en el análisis cuantitativo: flexibilidad estratégica, impacto en la moral del personal, alineación con objetivos de sostenibilidad y compatibilidad con planes de largo plazo.

**Decisión y selección:** Integrar los análisis cuantitativos y cualitativos para seleccionar la alternativa que mejor equilibre eficiencia económica, viabilidad técnica y alineación estratégica.

La selección y evaluación económica de equipos de manejo de materiales constituye una de las decisiones más críticas en el diseño de sistemas logísticos y productivos. La complejidad de esta decisión radica en la multiplicidad de factores que deben ser considerados: desde criterios técnicos como capacidad y versatilidad hasta dimensiones económicas como la inversión inicial, los costos operativos recurrentes y el valor residual.

El enfoque de costo total de propiedad (TCO) proporciona un marco analítico que integra estas dimensiones en una evaluación integral, permitiendo comparar alternativas con estructuras de costo muy diferentes. Este enfoque es particularmente relevante en el manejo de materiales, donde las diferencias en eficiencia energética, confiabilidad y mantenimiento entre alternativas pueden tener un impacto económico superior a las diferencias en precio de adquisición.

Sin embargo, el análisis económico debe ser complementado con una evaluación rigurosa de los criterios técnicos que determinan la viabilidad de cada alternativa en el contexto operativo específico.

La capacidad, la maniobrabilidad, la compatibilidad con infraestructura existente y la flexibilidad para adaptarse a cambios futuros son consideraciones que, aunque no siempre se reflejan completamente en los flujos de efectivo proyectados, son determinantes para el éxito de la inversión.

El proceso sistemático de selección, que combina la definición precisa de requerimientos, la identificación de alternativas, la evaluación técnica, el análisis económico y la consideración de factores intangibles, proporciona una estructura para tomar decisiones informadas que equilibren eficiencia económica, viabilidad técnica y alineación estratégica.

En un entorno donde los márgenes de beneficio se comprimen y la eficiencia operativa se vuelve crítica, el dominio de estas herramientas de evaluación constituye una competencia fundamental para el profesional del manejo de materiales.



# Capítulo 11

---

**Gestión de inventarios y su relación con el  
manejo: Políticas de inventario, ubicación  
de stock y ciclos de conteo**

## **4.1 Introducción a la relación entre inventarios y manejo de materiales**

La gestión de inventarios y el manejo de materiales constituyen dos disciplinas intrínsecamente vinculadas, cuya integración determina en gran medida la eficiencia de las operaciones logísticas. Mientras que la gestión de inventarios se ocupa de las decisiones sobre cuánto stock mantener, cuándo ordenar y cómo asignar los recursos financieros, el manejo de materiales se encarga del movimiento, almacenamiento y control físico de esos inventarios. La desconexión entre ambas funciones genera ineficiencias significativas: políticas de inventario que no consideran las limitaciones del manejo de materiales pueden resultar en congestión, distancias excesivas o baja productividad; inversamente, sistemas de manejo inadecuados pueden hacer inviables políticas de inventario diseñadas para minimizar costos financieros.

La relación entre ambas disciplinas se manifiesta en múltiples dimensiones. Las políticas de inventario determinan los patrones de flujo de materiales (volúmenes por lote, frecuencia de movimientos, sincronización entre recepción y despacho) que condicionan el diseño del sistema de manejo. La ubicación física del stock dentro del almacén afecta directamente las distancias recorridas y, por tanto, los costos de manejo. La precisión del inventario, mantenida mediante sistemas de conteo cíclico, es condición necesaria para que tanto la gestión de inventarios como el manejo de materiales operen sobre bases confiables.

Esta sección aborda las principales políticas de inventario desde la perspectiva de su interacción con el manejo de materiales, los principios para la ubicación eficiente del stock y las metodologías de conteo cíclico que aseguran la integridad de la información sobre la que se basan ambas funciones.

## 4.2 Políticas de inventario y su impacto en el manejo de materiales

Las políticas de inventario determinan cuándo y en qué cantidades se deben ordenar los productos, estableciendo el ritmo y los volúmenes de los flujos de materiales que el sistema de manejo debe procesar. Dos enfoques paradigmáticos (el modelo de cantidad económica de pedido [EOQ] y la filosofía justo a tiempo [JIT]) representan polos opuestos en el espectro de políticas, con implicaciones radicalmente diferentes para el manejo de materiales.

### Cantidad económica de pedido (EOQ) y manejo de materiales

El modelo de cantidad económica de pedido (Economic Order Quantity [EOQ]) busca determinar el tamaño de lote que minimiza la suma de los costos de ordenar y los costos de mantener inventario. Desarrollado por Ford Harris en 1913 y ampliamente utilizado desde entonces, el EOQ establece que existe un tamaño de lote óptimo que equilibra estos costos, típicamente mayor a las necesidades inmediatas y con una periodicidad determinada por la demanda y los costos involucrados.

Desde la perspectiva del manejo de materiales, las políticas basadas en EOQ presentan características distintivas. Los lotes de pedido son relativamente grandes, llegando en intervalos regulares pero espaciados. Esto implica que la recepción debe estar dimensionada para manejar volúmenes concentrados en momentos específicos, con requerimientos de espacio para la verificación y el almacenamiento temporal. El almacenamiento debe contar con capacidad suficiente para absorber estos lotes completos, y el sistema de manejo debe ser capaz de trasladar los volúmenes entrantes hacia las ubicaciones de almacenamiento en un período acotado.

El principal desafío que el EOQ impone al manejo de materiales es la variabilidad entre los picos de recepción y los períodos de menor actividad. La recepción requiere capacidad de pico significativa que permanece ociosa durante la mayor parte del tiempo. El almacenamiento debe mantener espacios reservados para los lotes completos, reduciendo la densidad de utilización. Los equipos de manejo deben estar dimensionados para los volúmenes de pico, con la correspondiente inversión en capacidad no utilizada promedio.

## **Justo a tiempo (JIT) y manejo de materiales**

La filosofía justo a tiempo (Just-In-Time [JIT]), desarrollada por Taiichi Ohno en Toyota como parte del Sistema de Producción Toyota, representa un enfoque radicalmente diferente. JIT busca la eliminación de inventarios mediante la sincronización precisa de los flujos de materiales con los ritmos de producción y demanda. Los materiales deben llegar en el momento exacto en que son requeridos, en las cantidades exactas necesarias, eliminando los almacenamientos intermedios.

Las implicaciones para el manejo de materiales bajo JIT son profundas. Los lotes de pedido son pequeños, frecuentemente reducidos a cantidades unitarias o al consumo de unas pocas horas. Las recepciones son continuas a lo largo del día, con múltiples entregas de cada proveedor. Esto transforma la naturaleza del manejo de materiales: en lugar de movimientos concentrados de grandes volúmenes, se requiere un flujo constante de pequeños volúmenes con alta confiabilidad.

La ubicación de las áreas de recepción y su integración con la producción se vuelven críticas. En configuraciones JIT avanzadas, los materiales se reciben directamente en el punto de uso en la línea de producción, eliminando el paso intermedio por almacén. Los equipos de manejo deben ser capaces de realizar movimientos frecuentes con tiempos de ciclo cortos y alta confiabilidad. Los sistemas de información deben proporcionar visibilidad en tiempo real de los flujos para coordinar las entregas con los consumos.

La eliminación de inventarios bajo JIT reduce drásticamente los requerimientos de espacio de almacenamiento y libera capital de trabajo, pero aumenta la vulnerabilidad a interrupciones en el suministro y requiere una precisión absoluta en el manejo de materiales, pues no existen inventarios de seguridad que absorban errores o demoras.

## **Implicaciones comparativas**

La elección entre políticas de inventario tiene consecuencias directas sobre el diseño del sistema de manejo de materiales. Las políticas EOQ favorecen sistemas de manejo orientados a la eficiencia en el movimiento de grandes lotes: equipos de alta capacidad, almacenamiento denso y flujos

con menor frecuencia, pero mayor volumen. Las políticas JIT favorecen sistemas orientados a la flexibilidad y la velocidad: equipos con tiempos de ciclo cortos, flujos continuos y estrecha integración entre áreas de recepción, producción y despacho.

En la práctica, la mayoría de las organizaciones adoptan políticas híbridas, aplicando principios JIT para productos de alta rotación con proveedores confiables, mientras mantienen enfoques más tradicionales para productos de baja rotación o con mayor incertidumbre en el suministro. El diseño del sistema de manejo de materiales debe reflejar esta heterogeneidad, creando zonas con diferentes características según las políticas aplicables a cada familia de productos.

### **4.3 Ubicación de stock y su impacto en la eficiencia del manejo**

La ubicación física del inventario dentro de la instalación determina las distancias que deben recorrerse para acceder a cada producto, impactando directamente en la productividad del manejo de materiales y en los tiempos de preparación de pedidos. La asignación de ubicaciones no es un detalle operativo menor, sino una decisión estratégica con efectos cuantificables en los costos de manejo.

#### **Enfoques de asignación de ubicaciones**

Existen dos enfoques fundamentales para la asignación de ubicaciones de almacenamiento, cada uno con implicaciones distintas para la eficiencia del manejo.

El almacenamiento dedicado asigna a cada producto una ubicación fija y exclusiva. Este enfoque tiene la ventaja de la predictibilidad: el operador siempre sabe dónde encontrar cada producto, sin necesidad de consultar sistemas de información para cada movimiento. La curva de aprendizaje es rápida y el picking puede realizarse por memorización de ubicaciones. Sin embargo, el almacenamiento dedicado tiene una eficiencia espacial limitada, pues se debe reservar capacidad para cada producto según su nivel máximo de inventario, dejando espacio ocioso cuando el stock está

por debajo del máximo. Adicionalmente, la reasignación de productos con cambios en la rotación requiere esfuerzos significativos de reorganización.

El almacenamiento aleatorio permite que cualquier producto ocupe cualquier ubicación disponible en el momento de la recepción. El sistema de gestión de almacenes (WMS) registra dónde se ha colocado cada producto y dirige las operaciones de *picking* a la ubicación correspondiente. Este enfoque maximiza la utilización del espacio, pues cualquier ubicación vacía puede ser utilizada por cualquier producto entrante. Además, facilita la aplicación de principios dinámicos como la ubicación por rotación. Sin embargo, requiere un WMS robusto y precisión absoluta en el registro de movimientos, pues la pérdida de trazabilidad hace imposible localizar los productos. El *picking* requiere consulta constante al sistema, lo que puede reducir la productividad si la integración no es adecuada.

### **Principio de ubicación por rotación (ABC)**

Independientemente del enfoque de asignación (dedicado o aleatorio), el principio de ubicación por rotación establece que los productos de mayor rotación deben ser ubicados en las posiciones de mayor accesibilidad. Este principio, derivado del análisis ABC presentado en la sección anterior, tiene un impacto directo en la productividad del manejo de materiales.

En estanterías selectivas, las ubicaciones de mayor accesibilidad son aquellas a la altura de cintura a hombro, sin necesidad de agacharse o estirarse, y en los pasillos más cercanos a las áreas de preparación de pedidos. En sistemas de almacenamiento de pasillos, las ubicaciones privilegiadas son aquellas en los primeros pasillos desde la salida. En sistemas automatizados, el principio se aplica asignando productos de alta rotación a posiciones más cercanas a la estación de extracción o a sistemas de doble profundidad que permiten mayor velocidad de recuperación.

La implementación efectiva del principio ABC requiere que la clasificación de productos sea dinámica. Los patrones de rotación cambian con las temporadas, las promociones y la evolución del mercado. Un producto que hoy es de alta rotación puede volverse de baja rotación en unos meses. El sistema de gestión de almacenes debe permitir la reclasificación periódica y, en sistemas de almacenamiento aleatorio, la reubicación automática de productos según su clasificación actualizada.

## Ubicación por familias y complementariedad

Más allá de la rotación individual, la ubicación del stock debe considerar las relaciones entre productos. La ubicación por familias agrupa productos que comparten características (mismo proveedor, mismo cliente, misma categoría) en áreas contiguas. Esta estrategia facilita la preparación de pedidos que frecuentemente combinan productos de la misma familia, reduciendo distancias de recorrido.

La complementariedad se refiere a productos que suelen ser solicitados juntos en los pedidos. El análisis de la coocurrencia en órdenes de pedido permite identificar pares o grupos de productos que se solicitan simultáneamente. Ubicar estos productos en proximidad reduce drásticamente las distancias de *picking*. Esta estrategia, conocida como slotting basado en correlación, requiere análisis de datos históricos de pedidos y puede generar ahorros significativos en operaciones de alta variedad y bajo volumen por pedido.

## Consideraciones físicas en la ubicación

La ubicación del stock también debe considerar las características físicas de los productos: Los productos pesados deben ubicarse en niveles inferiores para facilitar su manejo y reducir riesgos de seguridad. Los productos frágiles requieren ubicaciones protegidas, evitando niveles altos donde el riesgo de caída es mayor. Los productos con requisitos especiales de temperatura, humedad o limpieza deben concentrarse en áreas con las condiciones ambientales adecuadas. Los productos de gran volumen o peso excepcional pueden requerir ubicaciones en el suelo, accesibles directamente sin necesidad de equipos de elevación.

### 4.4 Ciclos de conteo (inventarios cíclicos)

La precisión del inventario es condición necesaria para que tanto la gestión de inventarios como el manejo de materiales operen efectivamente. Decisiones de compra basadas en registros inexactos generan excesos o faltantes; operaciones de *picking* guiadas por ubicaciones incorrectas generan errores y pérdidas de productividad. Los inventarios cíclicos (ciclos de

conteo) constituyen la metodología estándar para mantener la precisión del inventario sin interrumpir las operaciones con los paros totales característicos de los inventarios físicos tradicionales.

## **Fundamento de los inventarios cíclicos**

El inventario cíclico consiste en contar una parte del inventario cada día, de manera que todos los productos sean contados con una frecuencia determinada por su importancia o rotación. A diferencia del inventario físico tradicional, que requiere detener las operaciones para contar todo el almacén en un período corto, el conteo cíclico se integra con las operaciones normales, contando ubicaciones específicas mientras el resto del almacén sigue operando.

La frecuencia de conteo se determina según la clasificación de los productos. Los productos de clase A (alta rotación y alto valor) se cuentan con mayor frecuencia; por ejemplo, cada mes o cada dos meses. Los productos de clase B se cuentan con frecuencia intermedia (cada trimestre, por ejemplo). Los productos de clase C se cuentan con menor frecuencia (semestral o anualmente). Este enfoque concentra los recursos de conteo en los productos donde la precisión es más crítica.

## **Metodologías de conteo cíclico**

Existen diferentes enfoques para seleccionar qué ubicaciones contar cada día. El conteo por ciclos basado en clasificación asigna a cada producto un intervalo de conteo fijo según su clase ABC, generando un calendario de conteos distribuido uniformemente en el tiempo. Este enfoque es simple de implementar y asegura que cada producto sea contado con la frecuencia deseada.

El conteo por control de umbrales (control group) utiliza disparadores basados en eventos para seleccionar productos para conteo. Se cuentan productos cuando se detectan discrepancias (por ejemplo, cuando un operador de picking no encuentra un producto en la ubicación indicada), cuando se alcanzan niveles mínimos de inventario o cuando se han registrado movimientos inusuales. Este enfoque concentra los recursos en los productos con mayor probabilidad de error.



El conteo por ciclos basado en transacciones cuenta productos que han tenido actividad reciente, bajo el principio de que los productos que más se mueven tienen mayor probabilidad de acumular errores. Se cuentan los productos con mayor número de transacciones en el período desde el último conteo.

### **Indicadores de precisión de inventario**

La efectividad del programa de conteo cíclico se mide mediante indicadores de precisión. El indicador fundamental es el porcentaje de ubicaciones con inventario exacto respecto al registro del sistema. Un estándar de clase mundial es alcanzar una precisión superior al 99,5 % para productos de alta rotación.

El análisis de las discrepancias identificadas durante los conteos proporciona información valiosa para mejorar los procesos. Las discrepancias pueden clasificarse por tipo de error (ubicación incorrecta, cantidad errónea, producto equivocado), por área de la instalación, por tipo de operación asociada o por momento del ciclo de vida del producto. Este análisis permite identificar causas raíz y tomar acciones correctivas.

### **Integración con el manejo de materiales**

El programa de conteo cíclico debe estar integrado con las operaciones normales de manejo de materiales. Idealmente, los conteos se programan durante períodos de menor actividad (inicio de turno y horas valle) y se asignan a personal específicamente entrenado. Las ubicaciones seleccionadas para conteo deben ser bloqueadas temporalmente para evitar movimientos durante el proceso de verificación, o deben contarse inmediatamente después de un movimiento para capturar el estado más reciente.

La precisión del inventario obtenida mediante conteo cíclico permite que el manejo de materiales opere sobre bases confiables. Las operaciones de picking guiadas por el sistema confían en que los productos están efectivamente en las ubicaciones indicadas. Las operaciones de reposición se basan en niveles de stock precisos para determinar cuándo y cuánto reabastecer. La planificación de recursos se apoya en datos de inventario confiables para dimensionar capacidad de manejo.

## 4.5 Integración de políticas, ubicación y conteo

La gestión eficaz de inventarios y su relación con el manejo de materiales requiere la integración coherente de las políticas de inventario, la ubicación del stock y los ciclos de conteo. Esta integración se logra mediante un enfoque sistémico que considera las interdependencias entre estas decisiones.

Las políticas de inventario determinan los volúmenes y frecuencias de los flujos que el manejo de materiales debe procesar. A su vez, estas características de flujo influyen en las decisiones de ubicación: productos con alta frecuencia de movimiento deben ubicarse en posiciones privilegiadas. La precisión del inventario, mantenida mediante conteo cíclico, es condición necesaria para que tanto las políticas de inventario como las decisiones de ubicación sean efectivas.

En la práctica, la integración se materializa en sistemas de gestión de almacenes (WMS) que incorporan estas funcionalidades de manera coordinada. El WMS mantiene la clasificación ABC actualizada basada en datos de rotación, asigna ubicaciones según políticas definidas (dedicada, aleatoria, mixta), dirige las operaciones de manejo con base en la ubicación óptima y gestiona el programa de conteo cíclico integrando los resultados para ajustar parámetros de clasificación y ubicación.

La retroalimentación entre estas funciones es continua: los resultados del conteo cíclico pueden indicar la necesidad de revisar la clasificación ABC (productos con errores recurrentes pueden requerir mayor frecuencia de conteo), ajustar las políticas de ubicación (errores de picking pueden indicar ubicaciones confusas) o modificar las políticas de inventario (discrepancias sistemáticas pueden señalar problemas con proveedores o procesos de recepción).

La gestión de inventarios y el manejo de materiales constituyen funciones intrínsecamente vinculadas, cuya integración determina la eficiencia global de las operaciones logísticas. Las políticas de inventario establecen los patrones de flujo —volúmenes, frecuencias, sincronización— que condicionan el diseño y dimensionamiento del sistema de manejo de materiales. La ubicación física del stock determina las distancias recorridas y, por tanto, los costos de manejo y los tiempos de preparación de pedidos. La precisión del inventario, mantenida mediante sistemas de conteo cíclico, es condición necesaria para que tanto la gestión como el manejo operen sobre bases confiables.

La elección entre políticas de inventario tiene implicaciones profundas para el manejo de materiales. Las políticas basadas en cantidad económica de pedido (EOQ) generan flujos concentrados de grandes lotes, favoreciendo sistemas de manejo orientados a la eficiencia en volumen. Las políticas justo a tiempo (JIT) generan flujos continuos de lotes pequeños, favoreciendo sistemas orientados a la velocidad y la flexibilidad. En la práctica, la mayoría de las organizaciones adoptan políticas híbridas que combinan elementos de ambos enfoques, requiriendo sistemas de manejo capaces de operar con diferentes características de flujo según la familia de productos.

La ubicación del stock basada en principios de rotación (ABC), complementariedad y características físicas impacta directamente en la productividad del manejo de materiales. La asignación de ubicaciones privilegiadas a productos de alta rotación reduce las distancias de picking y mejora la productividad. La agrupación por familias y complementariedad reduce los recorridos en pedidos que combinan múltiples productos. La consideración de características físicas asegura la seguridad y la integridad de los productos.

Los inventarios cíclicos proporcionan la precisión de información necesaria para que tanto la gestión de inventarios como el manejo de materiales operen efectivamente. Al concentrar los recursos de conteo en los productos de mayor rotación y valor, y al integrar el conteo con las operaciones normales, los inventarios cíclicos mantienen la precisión sin las interrupciones características de los inventarios físicos tradicionales.

La integración coherente de estas dimensiones —políticas de inventario, ubicación de stock y conteo cíclico— requiere un enfoque sistémico y el apoyo de sistemas de gestión de almacenes (WMS) que permitan la retroalimentación continua entre ellas. En un entorno donde la eficiencia operativa y la precisión de la información son factores críticos de competitividad, el dominio de estas interrelaciones constituye una competencia fundamental para el profesional del manejo de materiales y la gestión de la cadena de suministro.



# IV

---

## **Aspectos transversales críticos en el manejo de materiales**

## Introducción

La eficiencia operativa y la rentabilidad económica, si bien son objetivos centrales en el manejo de materiales, no pueden ser perseguidas a expensas de la seguridad de las personas, el bienestar de los operarios o la responsabilidad ambiental. Este capítulo se centra en aquellos elementos transversales que, integrados de manera inherente al diseño y la gestión de cualquier sistema, determinan su sostenibilidad a largo plazo, su viabilidad social y su cumplimiento normativo. Lejos de ser consideraciones secundarias, estos aspectos constituyen pilares fundamentales que dotan de robustez y resiliencia a las operaciones logísticas e industriales.

Se analiza en profundidad la seguridad y la ergonomía como disciplinas indisociables del manejo de materiales. Se examinan los riesgos inherentes a la operación de equipos y al manejo manual de cargas, junto con las estrategias de prevención, las normativas aplicables y el diseño de estaciones de trabajo que minimicen la fatiga y las lesiones, reconociendo al operario como el elemento más valioso del sistema.

Paralelamente, se aborda el imperativo de la sostenibilidad, explorando cómo la selección de tecnologías energéticamente eficientes, la optimización de recorridos para reducir emisiones, la gestión de embalajes y la integración de la logística inversa contribuyen a un modelo de operación ambientalmente responsable. Finalmente, el capítulo proyecta la mirada hacia el futuro, analizando el impacto de las megatendencias tecnológicas —como la digitalización, el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial— en la evolución de los sistemas de manejo de materiales, preparando al lector para los desafíos y oportunidades de la Industria 4.0.

La comprensión de estas dimensiones críticas permite al futuro profesional trascender el enfoque puramente técnico, desarrollando una visión holística que valora por igual la productividad, las personas, el planeta y la preparación tecnológica. Este enfoque integral es el que define al manejo de materiales moderno y estratégico.

# Capítulo 12

---

## **Seguridad y ergonomía: Normativas, prevención de accidentes y diseño de estaciones de trabajo**

## **1.1 Introducción a la seguridad y ergonomía en el manejo de materiales**

La seguridad y la ergonomía constituyen pilares fundamentales en el diseño y operación de sistemas de manejo de materiales, pues determinan no solo el bienestar de los trabajadores, sino también la sostenibilidad de las operaciones a largo plazo. Los trastornos musculoesqueléticos (TME) relacionados con el trabajo representan la principal causa de ausentismo laboral y discapacidad ocupacional a nivel global, y una proporción significativa de estos trastornos se origina en actividades de manejo manual de materiales y movimientos repetitivos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce estos trastornos como la afección ocupacional más prevalente, con consecuencias que afectan tanto la calidad de vida de los trabajadores como la productividad y competitividad de las organizaciones.

El manejo de materiales, por su naturaleza, expone a los trabajadores a múltiples factores de riesgo biomecánico: levantamiento y transporte de cargas, movimientos repetitivos, posturas forzadas, aplicación de fuerza manual y vibraciones. La identificación, evaluación y control de estos factores constituye el objeto de la ergonomía ocupacional, disciplina que busca adaptar el trabajo al trabajador y no al contrario. La integración de principios ergonómicos en el diseño de estaciones de trabajo, la selección de equipos y la organización de procesos no solo reduce la incidencia de lesiones, sino que mejora la productividad, reduce la fatiga y aumenta la satisfacción laboral.

Esta sección aborda de manera sistemática el marco normativo aplicable, con énfasis en la normativa mexicana NOM-036-1-STPS-2018 y los estándares internacionales de referencia, las metodologías para la evaluación de riesgos ergonómicos, las estrategias de prevención de accidentes en entornos de manejo de materiales y los principios para el diseño ergonómico de estaciones de trabajo que minimicen el riesgo de lesiones por esfuerzo repetitivo y manejo manual de cargas.



## 1.2 Marco normativo en seguridad y ergonomía

### Normativa mexicana: NOM-036-1-STPS-2018

En México, la regulación en materia de factores de riesgo ergonómico derivados del manejo manual de cargas se encuentra establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-036-1-STPS-2018, titulada "Factores de riesgo ergonómico en el trabajo-identificación, análisis, prevención y control. Parte 1: Manejo manual de cargas". Esta norma, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de noviembre de 2018 y vigente a partir del 2 de enero de 2020, tiene por objeto establecer los elementos para identificar, analizar, prevenir y controlar los factores de riesgo ergonómico en los centros de trabajo derivados del manejo manual de cargas, a efecto de prevenir alteraciones a la salud de los trabajadores.

**Campo de aplicación:** La NOM-036-1-STPS-2018 aplica en todos los centros de trabajo del territorio nacional donde existan trabajadores cuya actividad implique realizar manejo manual de cargas de forma cotidiana (más de una vez al día). Quedan excluidas las actividades de manejo manual de cargas menores a 3 kg.

**Obligaciones del patrón:** La norma establece obligaciones específicas para los empleadores, que incluyen:

- Realizar el análisis de los factores de riesgo ergonómico debido al manejo manual de cargas mediante metodologías reconocidas.
- Implementar medidas de prevención y control que incluyan la supervisión de que las operaciones se realicen en condiciones seguras, el mantenimiento de las áreas de tránsito y trabajo libres de obstáculos, la conservación de orden y limpieza, y la provisión del equipo de protección personal requerido.
- Establecer restricciones específicas para trabajadoras en estado de gestación y durante las primeras diez semanas posteriores al parto, quienes no podrán realizar actividades de manejo manual de cargas que impliquen cargas superiores a 10 kg, posturas forzadas o movimientos repetitivos por periodos prolongados que impliquen esfuerzo abdominal o de miembros inferiores.

**Metodologías de evaluación:** La norma referencia metodologías internacionalmente reconocidas para la evaluación de riesgos, entre las que se incluyen:

- La Ecuación Revisada de Levantamiento del NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), para la evaluación de tareas de levantamiento y transporte de cargas.
- Las tablas de Snook y Ciriello, para la evaluación de tareas de empuje y arrastre.
- El Cuestionario Nórdico de Kuorinka, para la identificación de síntomas musculoesqueléticos.

## **Estándares internacionales de referencia**

Además de la normativa mexicana, existen estándares internacionales que constituyen referencias fundamentales para la práctica profesional en seguridad y ergonomía:

**ISO 11228 (múltiples partes):** Esta norma internacional aborda los aspectos ergonómicos del manejo manual. La parte 1 se refiere al levantamiento y transporte de cargas; la parte 2 al empuje y arrastre; y la parte 3 al manejo de cargas ligeras a alta frecuencia.

**ACGIH Threshold Limit Values (TLVs):** La American Conference of Governmental Industrial Hygienists ha desarrollado valores límite umbral para la evaluación de factores de riesgo biomecánico. En particular, el método ACGIH para la evaluación de actividades manuales que requieren velocidad, continuidad de movimiento y uso de fuerza ha sido validado en múltiples estudios como predictor de trastornos musculoesqueléticos de mano, muñeca y antebrazo.

**ISO 6385-2016:** Esta norma establece los principios ergonómicos para el diseño de sistemas de trabajo, proporcionando directrices para la integración de factores humanos en el diseño de procesos y estaciones de trabajo.

**NIOSH Revised Lifting Equation (NLE):** Desarrollada por el National Institute for Occupational Safety and Health de Estados Unidos, esta ecuación permite calcular un Índice de Levantamiento (Lifting Index [LI]) que indica el nivel de riesgo asociado a una tarea de levanta-

tamiento manual. Un LI superior a 1 indica que la demanda de la tarea excede la capacidad recomendada para la población trabajadora.

### 1.3 Prevención de accidentes en el manejo de materiales

La prevención de accidentes en el manejo de materiales requiere un enfoque integral que aborde tanto los riesgos agudos (caídas, golpes y atrapamientos) como los riesgos crónicos (trastornos musculoesqueléticos). Las estrategias de prevención se organizan jerárquicamente según el principio de control de riesgos.

#### Jerarquía de controles

La jerarquía de controles establece la prioridad de las medidas preventivas, desde las más efectivas hasta las de menor efectividad:

**Eliminación:** Constituye la medida más efectiva. Consiste en eliminar el peligro mediante el rediseño del proceso. En el manejo de materiales, esto puede implicar la automatización completa de una tarea manual de alto riesgo o la eliminación de manipulaciones innecesarias mediante cambios en el flujo de materiales.

**Sustitución:** Reemplazar el peligro por uno de menor riesgo. Ejemplos incluyen la sustitución de equipos de combustión interna por equipos eléctricos para eliminar la exposición a gases contaminantes, o la utilización de equipos de manejo asistido para reemplazar el levantamiento manual.

**Controles de ingeniería:** Medidas que aíslan a los trabajadores del peligro. En manejo de materiales, incluyen la instalación de resguardos en equipos, sistemas de protección en montacargas (pórticos de seguridad, alarmas de retroceso), sistemas de extracción localizada para contaminantes y diseño ergonómico de estaciones de trabajo.

**Controles administrativos:** Cambios en la organización del trabajo para reducir la exposición. Incluyen la rotación de puestos para reducir la exposición a movimientos repetitivos, la programación de pausas activas, la capacitación en técnicas seguras de levantamiento y la señalización de áreas de riesgo.

**Equipo de protección personal (EPP):** Última línea de defensa. Incluye calzado de seguridad con punta de acero, guantes antideslizantes, cinturones de soporte lumbar, protectores auditivos en áreas de alto ruido y vestimenta de alta visibilidad en áreas de tránsito de equipos.

## **Principales riesgos en manejo de materiales**

**Riesgos asociados a equipos motorizados:** Los montacargas y otros equipos motorizados presentan riesgos de vuelco, colisión con peatones, atrapamiento y caída de cargas. Las medidas preventivas incluyen la separación de rutas de peatones y equipos, la instalación de espejos en intersecciones, la capacitación certificada de operadores y la implementación de sistemas de seguridad como alarmas de retroceso y limitadores de velocidad.

**Riesgos asociados al almacenamiento:** El almacenamiento inadecuado puede generar riesgos de caída de materiales, colapso de estanterías y obstrucción de rutas de evacuación. Las medidas preventivas incluyen la verificación de capacidades de carga de estanterías, la fijación de estanterías a estructuras, el aseguramiento de cargas en altura y el cumplimiento de distancias mínimas respecto a rociadores contra incendio.

**Riesgos asociados al manejo manual:** El levantamiento, transporte y manipulación manual de cargas constituye la principal causa de trastornos musculoesqueléticos. Los factores de riesgo incluyen el peso de la carga, la frecuencia de levantamiento, la distancia de la carga al cuerpo, la torsión del tronco y las condiciones ambientales.

## **1.4 Diseño de estaciones de trabajo para reducir lesiones**

El diseño ergonómico de estaciones de trabajo constituye la estrategia más efectiva para prevenir lesiones por esfuerzo repetitivo y manejo manual de cargas. Este diseño debe basarse en principios antropométricos, biomecánicos y organizacionales que consideren las capacidades y limitaciones humanas.

## Principios para el diseño de estaciones de levantamiento

**Altura de trabajo óptima:** Para tareas de levantamiento, la altura de la superficie de trabajo debe permitir que la carga se mantenga cerca del cuerpo. El rango óptimo para levantamiento se encuentra entre la altura de los nudillos y la altura del codo. Levantamientos por debajo de la altura de los nudillos (rodillas o suelo) incrementan significativamente la compresión en la columna lumbar.

**Distancia de la carga al cuerpo:** La fuerza de compresión en la columna lumbar aumenta exponencialmente con la distancia de la carga al cuerpo. Se debe diseñar para que la carga se mantenga lo más cerca posible del centro de gravedad del trabajador, idealmente dentro del espacio definido por los pies y sin necesidad de inclinación del tronco.

**Movimientos sin torsión:** La torsión del tronco durante el levantamiento combina flexión y rotación, generando las mayores cargas sobre la columna. El diseño debe permitir que el trabajador se posicione de frente a la carga, evitando movimientos de giro durante el levantamiento.

## Principios para el diseño de estaciones de movimientos repetitivos

Para actividades que involucren movimientos repetitivos de miembros superiores, como el picking manual en centros de distribución, se deben considerar los siguientes principios:

**Altura de trabajo ajustable:** Las estaciones de trabajo deben permitir ajustes de altura para adaptarse a diferentes estaturas de trabajadores. El rango óptimo para trabajo manual con los brazos apoyados o en posición neutra se encuentra entre la altura del codo y la altura del hombro.

**Alcance óptimo:** Los productos y herramientas deben ubicarse dentro del área de alcance óptimo, definida por el movimiento natural del brazo sin inclinación del tronco. El alcance óptimo se considera hasta 40 cm desde el hombro; el alcance máximo aceptable no debe superar los 60 cm. Frecuencia de uso y distancia se relacionan inversamente: los productos de mayor rotación deben ubicarse en las posiciones de menor distancia.

**Evitar trabajo por encima del hombro:** El trabajo con los brazos por encima de la altura del hombro genera fatiga acelerada y aumenta el riesgo de trastornos del manguito rotador. La ACGIH ha establecido valores límite umbral específicos para trabajo con brazos por encima del hombro, que deben ser considerados en el diseño de estaciones que requieren alcance a alturas elevadas.

**Minimizar fuerza manual:** La aplicación de fuerza manual repetitiva, especialmente con pellizco o agarre de fuerza, se asocia con trastornos de mano y muñeca (tendinitis y síndrome del túnel carpiano). El diseño debe priorizar agarres de potencia (con toda la mano) sobre agarres de precisión (con dedos), y utilizar herramientas asistidas para tareas que requieran fuerza sostenida.

## **Evaluación de riesgo por movimientos repetitivos: método ACGIH**

El método propuesto por la ACGIH para la evaluación de actividades manuales repetitivas constituye una herramienta de referencia para el diseño de estaciones de trabajo. Este método evalúa dos parámetros fundamentales:

**Nivel de actividad manual (Hand Activity Level [HAL]):** Este parámetro evalúa la frecuencia de movimientos de la mano durante el ciclo de trabajo. Puede determinarse mediante el cálculo de la frecuencia promedio de movimientos por minuto y la duración del ciclo de esfuerzo (tiempo en que el esfuerzo manual supera el 10 % de la fuerza máxima), o mediante una escala analógica de 0 a 10, donde 0 representa ausencia de repetición y 10 movimientos continuos de alta velocidad.

**Fuerza Máxima Normalizada (Normalized Peak Force [NPF]):** Este parámetro evalúa la fuerza máxima ejercida por la mano durante el ciclo de trabajo, expresada como un valor de 0 a 10 que corresponde al porcentaje de fuerza utilizada respecto a la fuerza de referencia de la población general para la misma tarea. La fuerza puede estimarse mediante observación, escala de percepción de esfuerzo (escala de Borg), instrumentos de medición o electromiografía.

La combinación de HAL y NPF determina si la exposición supera el Valor Límite Umbral (TLV) establecido por la ACGIH. Si el TLV es superado, las condiciones de trabajo resultan en un incremento significativo de la incidencia de trastornos musculoesqueléticos de mano. La ACGIH ha establecido también un Límite de Acción (Action Limit [AL]) que representa un nivel de guarda adicional: si la exposición se encuentra entre el AL y el TLV, se recomienda implementar medidas de control generales.

### **Evaluación de levantamiento manual: ecuación revisada NIOSH**

Para la evaluación de tareas de levantamiento manual, la Ecuación Revisada del NIOSH (NIOSH Revised Lifting Equation) constituye el método de referencia, reconocido por la NOM-036-1-STPS-2018 y por estándares internacionales.

La ecuación calcula el Peso Límite Recomendado (Recommended Weight Limit [RWL]) para una tarea específica, considerando seis factores multiplicadores:

- **Factor de distancia horizontal (HM):** La distancia horizontal de la carga al cuerpo. El RWL disminuye a medida que la carga se aleja del cuerpo.
- **Factor de altura vertical (VM):** La altura de las manos al inicio del levantamiento. Las posiciones extremas (muy bajas o muy altas) reducen el RWL.
- **Factor de desplazamiento vertical (DM):** La distancia vertical recorrida durante el levantamiento. Mayores desplazamientos verticales reducen el RWL.
- **Factor de asimetría (AM):** El ángulo de torsión del tronco durante el levantamiento. La torsión reduce significativamente el RWL.
- **Factor de frecuencia (FM):** La frecuencia de levantamientos por minuto y la duración de la jornada. Mayores frecuencias reducen el RWL.
- **Factor de agarre (CM):** La calidad del agarre de la carga. Agarre pobre (sin asas, superficie resbaladiza) reduce el RWL.

El Índice de Levantamiento (Lifting Index [LI]) se calcula como el peso real de la carga dividido por el RWL. Un LI mayor a 1 indica que la demanda de

la tarea excede la capacidad recomendada para la población trabajadora. Estudios comparativos han demostrado que valores de LI superiores a 1 se correlacionan significativamente con un mayor riesgo de trastornos de espalda baja.

## **Diseño de estaciones para reducción de fatiga**

La fatiga muscular, definida como "cualquier reducción en la capacidad de ejercer fuerza en respuesta a un esfuerzo voluntario", es un factor precursor de trastornos musculoesqueléticos. El diseño de estaciones de trabajo debe incorporar principios para predecir y limitar la fatiga:

**Ciclos trabajo-descanso:** Para tareas repetitivas, la proporción entre tiempo de esfuerzo y tiempo de recuperación es determinante. La AC-GIH recomienda que, para tareas con alta repetición y fuerza, el ciclo de trabajo no debe exceder cuatro horas continuas sin pausas de recuperación. Para tareas de alta intensidad, se debe considerar la aplicación de tiempos de recuperación proporcionales al esfuerzo.

**Variabilidad de posturas:** La mantención de posturas estáticas durante períodos prolongados genera fatiga por sobrecarga sostenida de grupos musculares específicos. El diseño debe permitir cambios de postura durante la jornada, alternando entre posiciones de pie y sentado cuando sea posible, y evitando posturas forzadas sostenidas.

**Superficies de apoyo:** El uso de superficies de apoyo (mesas, apoyabrazos y soportes) reduce la carga sobre la musculatura al transferir parte del peso a estructuras externas. En estaciones de trabajo, se debe proporcionar superficie de apoyo para los antebrazos durante tareas de precisión y plataformas antifatiga para trabajos de pie prolongados.

## **1.5 Medidas de control específicas por tipo de riesgo**

### **Control de riesgos por manejo manual de cargas**

**Limitación de peso:** La NOM-036-1-STPS-2018 establece que, para levantar y bajar cargas, los trabajadores no deben rebasar los límites establecidos por la ecuación del NIOSH o metodologías equivalentes. Para mujeres en gestación, el límite máximo es de 10 kg.



**Asistencia mecánica:** El uso de equipos de asistencia (transpaletas, montacargas, polipastos y mesas elevadoras) para cargas que superan los límites recomendados constituye la medida de control más efectiva. La selección del equipo debe considerar la frecuencia de uso, las dimensiones de la carga y el espacio disponible.

**Capacitación en técnicas seguras:** La capacitación debe incluir técnicas de levantamiento que mantengan la carga cerca del cuerpo, la espalda recta, el uso de la fuerza de las piernas en lugar de la espalda y la evitación de giros mientras se levanta la carga.

## **Control de riesgos por movimientos repetitivos**

**Rotación de puestos:** La rotación de trabajadores entre puestos con diferentes demandas biomecánicas reduce la exposición acumulada a factores de riesgo específicos. La rotación debe diseñarse para alternar entre tareas que utilizan diferentes grupos musculares.

**Pausas activas:** La programación de pausas breves y frecuentes (5-10 minutos cada hora) para realizar ejercicios de estiramiento y movilidad reduce la fatiga acumulada. La efectividad de las pausas activas ha sido documentada en estudios de intervención ergonómica.

**Rediseño de herramientas:** Las herramientas manuales deben diseñarse para permitir agarres neutros (muñeca recta) en lugar de agarres con desviación cubital o radial. El peso de las herramientas debe ser mínimo y cuando sea posible, deben utilizarse balancines o soportes para transferir el peso a estructuras externas.

## **Control de riesgos por posturas forzadas**

**Alcance óptimo:** Los materiales de uso frecuente deben ubicarse dentro del área de alcance óptimo (hasta 40 cm desde el hombro). Los materiales de uso ocasional pueden ubicarse en alcance máximo (hasta 60 cm). Los materiales de uso excepcional pueden requerir desplazamiento o inclinación.

**Altura de trabajo:** La altura de trabajo debe ajustarse al tipo de tarea: para trabajo de precisión, la altura debe ser superior a la del codo para permitir apoyo de antebrazos; para trabajo de fuerza, la altura debe ser inferior a la del codo para aprovechar la fuerza de las extremidades inferiores.

**Espacio para piernas:** Las estaciones de trabajo sentadas deben proporcionar espacio adecuado para piernas (profundidad mínima de 60 cm, altura libre de 65 cm) para permitir cambios de postura y aproximación al puesto.

La seguridad y la ergonomía constituyen dimensiones transversales críticas en el manejo de materiales, cuyo adecuado tratamiento determina no solo la salud y bienestar de los trabajadores, sino también la sostenibilidad y eficiencia de las operaciones. Los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo, que representan la principal causa de ausentismo laboral a nivel global, son en gran medida prevenibles mediante la aplicación sistemática de principios ergonómicos en el diseño de estaciones de trabajo, la selección de equipos y la organización de procesos.

El marco normativo mexicano, encabezado por la NOM-036-STPS-2018, establece las obligaciones de los empleadores y las metodologías para la identificación, análisis y control de factores de riesgo ergonómico derivados del manejo manual de cargas. Esta norma, junto con estándares internacionales como la Ecuación Revisada del NIOSH y los TLVs de la ACGIH, proporciona herramientas validadas para la evaluación cuantitativa de riesgos y la definición de medidas de control.

La jerarquía de controles —eliminación, sustitución, controles de ingeniería, controles administrativos y equipo de protección personal— guía la priorización de intervenciones, privilegiando aquellas que eliminan o reducen el riesgo en su origen. El diseño ergonómico de estaciones de trabajo, basado en principios antropométricos y biomecánicos, constituye el control de ingeniería más efectivo para prevenir lesiones por esfuerzo repetitivo y manejo manual de cargas.

La integración de estos principios en la cultura organizacional, respaldada por la capacitación continua de trabajadores y supervisores y por la vigilancia sistemática de la salud ocupacional, permite construir entornos de trabajo que no solo cumplen con los requisitos normativos, sino que promueven la productividad, la calidad y la satisfacción laboral.

En un contexto donde el capital humano constituye el recurso más valioso de las organizaciones, la inversión en seguridad y ergonomía no es un costo, sino una inversión estratégica con retornos cuantificables en términos de reducción de ausentismo, mejora de la productividad y fortalecimiento de la competitividad.

# Capítulo 13

---

**Sostenibilidad y medio ambiente:  
Eficiencia energética en equipos, reducción  
de emisiones, reciclaje de empaques y  
materiales, logística inversa**

## **2.1 Introducción a la sostenibilidad en el manejo de materiales**

La sostenibilidad ha emergido como una dimensión estratégica fundamental en el manejo de materiales, impulsada por la creciente conciencia ambiental, las presiones regulatorias y la evidencia de que las prácticas sostenibles generan ventajas competitivas sostenibles. El manejo de materiales, por su naturaleza, tiene un impacto ambiental significativo a través del consumo energético, las emisiones de gases de efecto invernadero, la generación de residuos de embalaje y la huella de carbono asociada al transporte y almacenamiento.

La Organización de las Naciones Unidas, a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), ha establecido un marco global que orienta las acciones hacia patrones de producción y consumo responsables. En particular, el ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 13 (Acción por el clima) son directamente aplicables al manejo de materiales, demandando la adopción de prácticas que minimicen el impacto ambiental sin comprometer la eficiencia operativa.

La sostenibilidad en el manejo de materiales se articula en torno a cuatro dimensiones interrelacionadas: la eficiencia energética en los equipos de manejo, la reducción de emisiones contaminantes, el reciclaje y reutilización de empaques y materiales, y la implementación de sistemas de logística inversa que permitan recuperar valor de productos al final de su vida útil. Estas dimensiones no son independientes; por el contrario, una estrategia integral de sostenibilidad las integra en un enfoque sistémico que busca maximizar la eficiencia de recursos a lo largo de todo el ciclo de vida de los materiales.

Esta sección aborda de manera sistemática cada una de estas dimensiones, proporcionando al profesional las herramientas conceptuales y prácticas para diseñar e implementar sistemas de manejo de materiales ambientalmente responsables y económicamente viables.

## 2.2 Eficiencia energética en equipos de manejo de materiales

El consumo energético asociado a los equipos de manejo de materiales representa una proporción significativa del impacto ambiental de las operaciones logísticas. La eficiencia energética no solo reduce la huella de carbono, sino que también genera ahorros operativos que mejoran la rentabilidad.

### Evolución tecnológica hacia equipos eléctricos

La transición de equipos de combustión interna hacia equipos eléctricos constituye la estrategia más efectiva para reducir el consumo energético y las emisiones en el manejo de materiales. Los montacargas eléctricos, en comparación con sus equivalentes de combustión interna, presentan una eficiencia energética significativamente superior. Mientras que un montacargas de combustión interna convierte aproximadamente el 25-30 % de la energía del combustible en trabajo útil, un montacargas eléctrico alcanza eficiencias del 70-80 % en la conversión de energía eléctrica en trabajo.

La tecnología de baterías ha evolucionado sustancialmente en la última década. Las baterías de ion-litio (Li-ion) están reemplazando progresivamente a las baterías de plomo-ácido tradicionales, ofreciendo ventajas significativas en términos de eficiencia energética, vida útil y flexibilidad operativa. Las baterías de ion-litio presentan una eficiencia de carga superior al 95 %, frente al 70-80 % de las baterías de plomo-ácido, lo que se traduce en un menor consumo eléctrico para la misma operación. Adicionalmente, su capacidad de carga rápida durante los tiempos de pausa (carga de oportunidad) elimina la necesidad de baterías de repuesto y reduce el inventario de baterías requerido.

### Sistemas de gestión de energía

La implementación de sistemas de gestión de energía (*Energy Management Systems* [EMS]) permite optimizar el consumo de los equipos de manejo mediante la monitorización en tiempo real y el análisis de datos operativos. Estos sistemas identifican patrones de ineficiencia, como tiempos excesivos de ralentí, aceleraciones bruscas y recorridos subóptimos, y proporcionan retroalimentación a operadores y supervisores.

En sistemas de transportadores y sorters, la tecnología de motores de corriente alterna con control vectorial y variadores de frecuencia permite ajustar la velocidad de operación a la demanda real, reduciendo el consumo en períodos de baja actividad. Los sistemas de encendido y apagado automático, que activan los transportadores solo cuando se detecta carga en la zona, han demostrado reducciones de consumo energético del 30-50 % en aplicaciones de acumulación.

## **Diseño de instalaciones para eficiencia energética**

El diseño del edificio y la disposición del *layout* impactan significativamente en el consumo energético asociado al manejo de materiales. La orientación del edificio para maximizar el aprovechamiento de luz natural reduce los requerimientos de iluminación artificial. Los sistemas de iluminación LED con sensores de presencia y regulación automática según luz natural han demostrado reducciones de consumo del 60-80 % respecto a sistemas de iluminación convencionales.

La segregación de áreas por temperatura (zonificación térmica) permite mantener condiciones ambientales solo en las zonas que lo requieren, reduciendo la carga de climatización en almacenes de gran volumen. En instalaciones frigoríficas, la automatización del manejo de materiales mediante AS/RS o AGV elimina la necesidad de personal en cámaras de frío, permitiendo diseños con menor volumen de aire acondicionado y reduciendo significativamente el consumo energético.

## **2.3 Reducción de emisiones**

La reducción de emisiones en el manejo de materiales abarca tanto las emisiones directas (generadas por equipos de combustión interna) como las emisiones indirectas (asociadas al consumo de energía eléctrica). Las estrategias de reducción se organizan jerárquicamente según su efectividad y viabilidad.

### **Electrificación de flotas**

La electrificación de la flota de equipos de manejo constituye la estrategia más efectiva para eliminar emisiones directas. En operaciones indoor, los

equipos eléctricos son la opción preferente no solo por razones ambientales, sino también por la eliminación de emisiones contaminantes en espacios cerrados, que afectan la calidad del aire y la salud de los trabajadores.

Para aplicaciones outdoor donde los equipos eléctricos pueden tener limitaciones de autonomía o capacidad, los equipos de combustión interna con tecnologías de reducción de emisiones ofrecen alternativas de menor impacto. Los equipos a gas licuado de petróleo (GLP) presentan menores emisiones de partículas y óxidos de nitrógeno que los equipos diésel. Los equipos a gas natural comprimido (GNC) reducen aún más las emisiones, aunque su adopción está limitada por la disponibilidad de infraestructura de suministro.

## **Optimización de recorridos y reducción de ralentí**

La optimización de recorridos mediante sistemas de gestión de flota (Fleet Management Systems) reduce el consumo de combustible y las emisiones asociadas. Estos sistemas monitorizan los movimientos de cada equipo, identifican rutas ineficientes, tiempos excesivos de desplazamiento sin carga y períodos prolongados de ralentí. La capacitación de operadores en técnicas de conducción eficiente (*ecodriving*) complementa estas herramientas tecnológicas, logrando reducciones de consumo del 10-20 % en flotas existentes.

## **Medición de huella de carbono**

La medición de la huella de carbono asociada al manejo de materiales constituye el primer paso para su gestión y reducción. La metodología del GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol) clasifica las emisiones en tres alcances: Alcance 1 (emisiones directas de equipos de combustión interna), Alcance 2 (emisiones indirectas por consumo de energía eléctrica) y Alcance 3 (otras emisiones indirectas, como las asociadas a la fabricación de equipos o al transporte de materiales).

La identificación de los principales contribuyentes a la huella de carbono permite priorizar las intervenciones. En operaciones con predominio de equipos eléctricos, el enfoque se concentra en la eficiencia energética y en la contratación de electricidad de fuentes renovables. En operaciones con flotas de combustión interna, la prioridad es la electrificación o el reemplazo por tecnologías de menores emisiones.

## **2.4 Reciclaje de empaques y materiales**

Los empaques y materiales de embalaje constituyen una fuente significativa de residuos en las operaciones de manejo de materiales. La gestión sostenible de estos materiales se basa en la jerarquía de las "3R": reducir, reutilizar y reciclar.

### **Reducción en origen**

La reducción en origen implica minimizar la cantidad de material de embalaje utilizado sin comprometer la protección del producto. Las estrategias incluyen la optimización del diseño de empaques para reducir el volumen y peso, la eliminación de embalajes innecesarios (sobreempaque) y la utilización de materiales de menor espesor con la misma resistencia estructural.

En el contexto de la unitarización, la reducción puede lograrse mediante la utilización de sistemas de embalaje retornable en lugar de embalajes de un solo uso. Los contenedores plásticos plegables, por ejemplo, reducen el volumen de retorno en un 70-80 % respecto a su volumen lleno, optimizando los costos de transporte de retorno y reduciendo la huella de carbono asociada.

### **Reutilización de empaques**

Los sistemas de empaques retornables constituyen una alternativa sostenible a los empaques de un solo uso. Estos sistemas operan mediante el pooling de contenedores, donde un operador externo gestiona el inventario de contenedores, su distribución a los proveedores, su recuperación después de su uso, y su limpieza y mantenimiento para nuevos ciclos.

El análisis de viabilidad de sistemas retornables debe considerar el balance entre la inversión en contenedores retornables (mayor costo inicial) y el ahorro por la eliminación de empaques desechables, así como los costos logísticos de retorno. En general, los sistemas retornables son económicamente viables cuando la distancia entre proveedor y usuario es moderada, el volumen de flujo es estable y el producto tiene una demanda continua.



## **Reciclaje de materiales**

El reciclaje de materiales de embalaje cierra el ciclo de materiales, convirtiendo residuos en insumos para nuevos productos. El cartón y el papel, los plásticos (polietileno, polipropileno, PET) y la madera son los materiales más comúnmente reciclados en operaciones de manejo de materiales.

La implementación efectiva del reciclaje requiere la separación en origen de los diferentes tipos de materiales, la compactación para reducir volumen de transporte, y la identificación de recicladores locales que garanticen el adecuado procesamiento de los materiales recuperados. La certificación de los procesos de reciclaje (por ejemplo, bajo estándares como el Chain of Custody del Forest Stewardship Council para productos de papel y madera) proporciona garantía de que los materiales recuperados son efectivamente procesados y reintroducidos en la cadena de valor.

## **Economía circular**

La economía circular va más allá del reciclaje, proponiendo un modelo donde los residuos de un proceso se convierten en insumos para otro, y donde los productos son diseñados desde su origen para ser desmontados, reparados y reciclados al final de su vida útil. En el contexto del manejo de materiales, la economía circular implica el diseño de sistemas de unitarización que faciliten el retorno y reutilización de pallets y contenedores, la selección de materiales de embalaje biodegradables o compostables cuando la reutilización no es viable, y la integración de criterios de circularidad en las decisiones de compra de equipos y materiales.

### **2.5 Logística Inversa**

La logística inversa se define como el proceso de planificación, implementación y control del flujo eficiente de materias primas, inventarios en proceso, productos terminados e información asociada, desde el punto de consumo hasta el punto de origen, con el propósito de recuperar valor o disponer adecuadamente de los materiales. A diferencia de la logística directa, que gestiona el flujo desde los proveedores hacia los clientes, la logística inversa

maneja los flujos en sentido contrario: devoluciones de clientes, productos al final de su vida útil, materiales de embalaje para reutilización o reciclaje y productos defectuosos para reparación o remanufactura.

## **Motivaciones para la logística inversa**

Las motivaciones para implementar sistemas de logística inversa pueden clasificarse en económicas, regulatorias, de responsabilidad social corporativa y de eficiencia operativa.

Las motivaciones económicas derivan del valor potencial de los materiales recuperados. Productos devueltos pueden ser reparados y revendidos, componentes pueden ser extraídos para uso como repuestos y materiales pueden ser reciclados como insumos para nuevos productos. En industrias como la electrónica, el valor de los materiales recuperados (metales preciosos, cobre y plásticos de ingeniería) puede justificar sistemas de recolección y procesamiento sofisticados.

Las motivaciones regulatorias provienen de legislaciones que establecen responsabilidad extendida del productor (*Extended Producer Responsibility* [EPR]), requiriendo que los fabricantes se hagan cargo de la gestión de sus productos al final de su vida útil. En la Unión Europea, la Directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) y la Directiva de Vehículos al Final de su Vida Útil son ejemplos de legislación que ha impulsado el desarrollo de sistemas de logística inversa.

Las motivaciones de responsabilidad social corporativa responden a las crecientes expectativas de consumidores, inversionistas y otros grupos de interés respecto al desempeño ambiental de las organizaciones. La capacidad de gestionar adecuadamente los productos al final de su vida útil se ha convertido en un factor de diferenciación competitiva en muchos mercados.

Las motivaciones de eficiencia operativa derivan de la necesidad de gestionar devoluciones de clientes de manera eficiente. El manejo inadecuado de devoluciones puede generar costos significativos y afectar la satisfacción del cliente. Un sistema de logística inversa bien diseñado convierte la gestión de devoluciones de un centro de costo en una oportunidad de fidelización y recuperación de valor.

## Procesos clave en logística inversa

La logística inversa comprende una secuencia de procesos que deben ser gestionados de manera integrada:

La **recolección** es el proceso de captación de productos devueltos o al final de su vida útil desde los puntos de generación (clientes, centros de servicio y puntos de recolección). La eficiencia de la recolección depende de la densidad geográfica de los puntos de generación, la frecuencia de recolección y el diseño de rutas.

La **inspección y clasificación** determina la condición del producto y su disposición óptima. Esta etapa puede clasificar productos en categorías como: reventa como nuevo (productos devueltos sin uso), reparación (productos con defectos reparables), remanufactura (productos que requieren desensamble y reconstrucción), recuperación de componentes (extracción de partes útiles), reciclaje de materiales (procesamiento de materiales para nuevos productos) y disposición final (materiales sin valor recuperable).

La **reparación y remanufactura** restaura productos a condiciones funcionales para su reintroducción en el mercado. La remanufactura implica procesos más intensivos que la simple reparación, incluyendo desensamble, limpieza, inspección de componentes, reemplazo de partes desgastadas, reensamble y pruebas. La remanufactura puede restaurar productos a condiciones equivalentes o superiores a las originales, con un consumo de energía y materiales significativamente menor que la fabricación desde cero.

El **reciclaje** procesa materiales recuperados para su uso como insumos en nuevos productos. En el contexto del manejo de materiales, el reciclaje de pallets, contenedores y empaques constituye una actividad de logística inversa de alta relevancia.

La **disposición final** gestiona los materiales que no tienen valor recuperable, asegurando que su eliminación se realice de manera ambientalmente responsable, cumpliendo con la normativa aplicable y minimizando el impacto ambiental.

## **Diseño de sistemas de logística inversa**

El diseño de sistemas de logística inversa debe considerar las características específicas de los flujos inversos, que difieren significativamente de los flujos directos. Los flujos inversos tienden a ser más variables en volumen, menos predecibles en su composición y con mayor incertidumbre sobre el momento y lugar de generación.

La integración de la logística inversa con los sistemas de manejo de materiales existentes es un factor crítico de éxito. Idealmente, los procesos de logística inversa deben compartir infraestructura (muelles, almacenes y equipos) con la logística directa cuando sea posible, pero con segregación de flujos para evitar contaminación de productos nuevos con productos devueltos.

Los sistemas de información juegan un papel fundamental en la logística inversa. La trazabilidad de los productos devueltos, desde su origen hasta su disposición final, requiere sistemas de identificación automática (códigos de barras y RFID) y gestión de datos que permitan documentar cada etapa del proceso. La información sobre la causa de la devolución, la condición del producto y las intervenciones realizadas es esencial para la mejora continua y para retroalimentar a las áreas de diseño y producción sobre oportunidades de mejora.

## **Indicadores de desempeño en logística inversa**

La gestión de la logística inversa requiere indicadores de desempeño específicos que complementan los utilizados en logística directa. Entre los indicadores relevantes se encuentran:

- La tasa de recuperación de valor mide la proporción del valor de los productos devueltos que es recuperado mediante reventa, reparación, remanufactura o reciclaje. Este indicador refleja la efectividad de los procesos de clasificación y disposición.
- El tiempo de ciclo de devolución mide el tiempo transcurrido desde la recepción del producto devuelto hasta su disposición final (reventa, reparación y reciclaje). Tiempos de ciclo prolongados reducen el valor recuperable y aumentan los costos de manejo.

- El costo por unidad procesada mide la eficiencia de los procesos de logística inversa, incluyendo costos de transporte, inspección, reparación y disposición.
- La precisión de clasificación mide la proporción de productos correctamente clasificados en su disposición óptima. Errores de clasificación pueden resultar en oportunidades de valor perdidas o en costos de reprocesamiento.

## 2.6 Integración de la sostenibilidad en la cultura organizacional

La sostenibilidad en el manejo de materiales no puede ser una iniciativa aislada; requiere integrarse en la cultura organizacional y en los procesos de toma de decisiones. Esta integración se logra mediante:

**Indicadores de desempeño sostenible:** La inclusión de métricas ambientales (consumo energético, emisiones de CO<sub>2</sub>, tasa de reciclaje, valor recuperado en logística inversa) en los cuadros de mando integral (*balanced scorecards*) alinea los objetivos de sostenibilidad con los objetivos operativos y financieros.

**Capacitación y sensibilización:** La formación de operadores, supervisores y gerentes en prácticas sostenibles de manejo de materiales crea conciencia sobre el impacto ambiental de las operaciones y empodera al personal para proponer mejoras.

**Innovación en procesos:** La búsqueda continua de oportunidades para reducir el impacto ambiental debe integrarse en los procesos de mejora continua. Metodologías como Lean y Six Sigma pueden incorporar objetivos ambientales (Lean & Green) para identificar y eliminar desperdicios ambientales junto con desperdicios operativos.

**Colaboración en la cadena de suministro:** La sostenibilidad en el manejo de materiales se extiende más allá de los límites de la organización. La colaboración con proveedores para reducir empaques, con clientes para optimizar el diseño de productos para logística inversa y con recicladores para cerrar ciclos de materiales es esencial para maximizar el impacto de las iniciativas sostenibles.

La sostenibilidad se ha consolidado como una dimensión estratégica fundamental en el manejo de materiales, impulsada por la urgencia de mitigar el cambio climático, la creciente presión regulatoria y las expectativas de consumidores e inversionistas. Las cuatro dimensiones abordadas en esta sección —eficiencia energética, reducción de emisiones, reciclaje de empaques y logística inversa— constituyen pilares interdependientes de una estrategia integral de sostenibilidad.

La eficiencia energética en equipos de manejo de materiales, impulsada por la electrificación de flotas, la adopción de baterías de ion-litio y la implementación de sistemas de gestión de energía, reduce tanto el impacto ambiental como los costos operativos. La transición hacia equipos eléctricos no solo elimina emisiones directas en operaciones indoor, sino que, cuando se combina con electricidad de fuentes renovables, permite alcanzar niveles de emisiones cercanos a cero.

La gestión sostenible de empaques, basada en la jerarquía de reducir, reutilizar y reciclar, minimiza la generación de residuos y reduce la huella de carbono asociada a la producción y disposición de materiales de embalaje. Los sistemas de empaques retornables, cuando son económicamente viables, representan la alternativa más sostenible al cerrar ciclos de materiales con mínimo consumo de recursos.

La logística inversa transforma la gestión de devoluciones y productos al final de su vida útil de un centro de costo a una oportunidad de recuperación de valor. La integración de procesos de recolección, inspección, reparación, remanufactura, reciclaje y disposición final permite capturar el valor remanente de los materiales y reducir el impacto ambiental asociado a su eliminación.

La integración de estas dimensiones en la cultura organizacional, respaldada por indicadores de desempeño sostenible, capacitación y colaboración en la cadena de suministro, permite que la sostenibilidad trascienda iniciativas aisladas para convertirse en un principio rector del diseño y operación de sistemas de manejo de materiales. En un contexto donde la competitividad se define cada vez más por la capacidad de operar de manera sostenible, el dominio de estas prácticas constituye una competencia fundamental para el profesional del manejo de materiales.

# Capítulo 14

---

**Automatización y tendencias futuras:  
Industria 4.0, IoT, Big Data y gemelos  
digitales aplicados al manejo de materiales**

### **3.1 Introducción a la transformación digital en el manejo de materiales**

La Cuarta Revolución Industrial, comúnmente denominada Industria 4.0, está transformando radicalmente el panorama del manejo de materiales, introduciendo niveles de conectividad, inteligencia y autonomía que hace una década parecían inalcanzables. Este paradigma, originado en Alemania como parte de una estrategia de alta tecnología para la manufactura, se ha expandido globalmente, permeando todas las dimensiones de la logística y la cadena de suministro. En esencia, la Industria 4.0 representa la integración de tecnologías digitales con procesos físicos, creando sistemas ciberfísicos donde el mundo físico y el digital convergen en tiempo real.

El manejo de materiales, por su naturaleza de gestionar flujos físicos de productos, es particularmente susceptible a los beneficios de esta transformación digital. La capacidad de conectar equipos, sensores y sistemas en una red integrada, de analizar grandes volúmenes de datos para extraer información operativa y de crear representaciones virtuales que permitan simular y optimizar sistemas antes de implementarlos físicamente, está redefiniendo los límites de lo posible en eficiencia, flexibilidad y capacidad de respuesta.

Esta sección aborda tres pilares fundamentales de la transformación digital aplicada al manejo de materiales: el Internet de las Cosas (IoT) como infraestructura de conectividad, el Big Data y la analítica avanzada como capacidad de inteligencia, y los gemelos digitales (*digital twins*) como herramienta de simulación y optimización continua. Estos elementos, integrados, constituyen el núcleo de los sistemas de manejo de materiales de próxima generación.

### **3.2 Internet de las cosas (IoT) en el manejo de materiales**

El Internet de las Cosas (Internet of Things [IoT]) se refiere a la red de objetos físicos —equipos, sensores y dispositivos— que están integrados con electrónica, software, sensores y conectividad de red, permitiéndoles recopilar, procesar e intercambiar datos. En el contexto del manejo de materiales, el IoT transforma equipos tradicionalmente "mudos" en nodos inteligentes que comunican continuamente su estado, ubicación y actividad, creando una capa de visibilidad sin precedentes sobre las operaciones.



## Sensores y dispositivos conectados

La base del IoT en manejo de materiales son los sensores que capturan datos del entorno físico. Estos sensores, cada vez más pequeños, económicos y energéticamente eficientes, pueden ser embebidos en equipos, infraestructura y hasta en las propias unidades de carga:

Los **sensores de posición y ubicación** utilizan tecnologías como RFID activa, GPS y sistemas de localización en tiempo real (RTLS) para determinar la ubicación precisa de equipos y materiales dentro de la instalación. Esta capacidad de localización continua permite, por ejemplo, que un operador localice un montacargas disponible en tiempo real, o que un sistema de gestión conozca la ubicación exacta de cada pallet sin necesidad de conteos físicos.

Los **sensores de condición** monitorizan parámetros ambientales y de operación. En cadenas de frío, sensores de temperatura y humedad integrados en contenedores y pallets proporcionan trazabilidad continua de las condiciones de conservación, generando alertas ante desviaciones que podrían comprometer la calidad del producto. En equipos de manejo, sensores de vibración, temperatura de motores y niveles de aceite permiten monitorizar la salud de los equipos y predecir fallas antes de que ocurran.

Los **sensores de actividad** detectan movimiento, utilización y productividad. Sensores de peso en estanterías pueden detectar automáticamente la ubicación de productos y actualizar inventarios sin intervención manual. Sensores de presencia en transportadores activan y desactivan tramos según la demanda, reduciendo consumo energético.

## Conectividad y comunicaciones

La arquitectura de comunicaciones del IoT en manejo de materiales combina múltiples tecnologías según los requerimientos de cada aplicación. Las redes WiFi de alta densidad proporcionan conectividad para equipos móviles como ordenadores y montacargas, permitiendo comunicación bidireccional con sistemas de gestión. Las redes LPWAN (Low-Power

Wide-Area Networks), como LoRaWAN y NB-IoT, ofrecen conectividad de largo alcance con bajo consumo energético, ideales para sensores de condición en unidades de carga que requieren autonomía de meses o años. Las redes 5G, con su combinación de alta velocidad, baja latencia y capacidad para conectar masivamente dispositivos, están habilitando aplicaciones de control en tiempo real como la operación remota de equipos y la coordinación de flotas autónomas.

## **Aplicaciones IoT en manejo de materiales**

La implementación de IoT en manejo de materiales genera aplicaciones concretas con beneficios cuantificables:

- El mantenimiento predictivo utiliza sensores en equipos para monitorizar parámetros operativos (vibraciones, temperaturas, ciclos de operación) y algoritmos de inteligencia artificial para predecir la probabilidad de falla. En lugar de mantener equipos según intervalos fijos (mantenimiento preventivo) o reparar después de la falla (mantenimiento correctivo), el mantenimiento predictivo programa intervenciones en el momento óptimo, justo antes de que ocurra la falla, pero sin incurrir en trabajo innecesario. Los resultados documentados incluyen reducciones del 30-50 % en costos de mantenimiento, disminución del 70 % en paradas no planificadas y extensión de la vida útil de los equipos.
- La visibilidad en tiempo real del inventario elimina la incertidumbre sobre la ubicación y disponibilidad de materiales. En lugar de depender de conteos cíclicos que solo proporcionan una instantánea periódica, los sistemas IoT mantienen una imagen continua del inventario, actualizada con cada movimiento. Esta visibilidad permite niveles de precisión superiores al 99,9 % y reduce significativamente los tiempos de búsqueda de materiales.
- La gestión autónoma de flotas coordina equipos móviles (montacargas, AGV y AMR) basándose en datos en tiempo real de demanda y disponibilidad. En lugar de asignaciones manuales, el sistema asigna dinámicamente la tarea al equipo más cercano, considerando su estado de carga y su disponibilidad. Esta coordinación inteligente ha demostrado incrementos de productividad del 15-25 % en operaciones de manejo de materiales.

- La trazabilidad granular de productos a lo largo de toda la cadena de suministro se logra mediante la combinación de sensores IoT en unidades de carga con plataformas de datos compartidas. En industrias reguladas como la farmacéutica y alimentaria, esta trazabilidad es no solo una ventaja competitiva, sino un requisito normativo.

### 3.3 Big Data y analítica avanzada

El volumen de datos generados por los sistemas IoT en manejo de materiales es masivo y creciente. Un centro de distribución moderno puede generar terabytes de datos diariamente provenientes de lectores RFID, sensores de equipos, sistemas de gestión, cámaras y dispositivos móviles. Big Data se refiere a la capacidad de capturar, almacenar, procesar y analizar estos volúmenes de datos para extraer información que oriente la toma de decisiones.

#### Características del Big Data en manejo de materiales

Los datos generados en operaciones de manejo de materiales presentan las características que definen al big data. El volumen es masivo: miles de millones de eventos de lectura RFID, millones de movimientos de equipos, terabytes de imágenes de sistemas de visión. La velocidad es crítica: los datos deben ser procesados en tiempo real o casi tiempo real para permitir respuestas operativas inmediatas. La variedad es alta: datos estructurados de transacciones (órdenes de pedido, recepciones), datos semiestructurados de logs de equipos y datos no estructurados de imágenes y documentos. La veracidad es esencial: decisiones operativas basadas en datos inexactos pueden tener consecuencias costosas. Finalmente, el valor es el objetivo último: los datos solo tienen sentido en la medida en que permiten generar información que mejora las decisiones.

#### Aplicaciones de analítica avanzada

La analítica avanzada aplicada a los datos del manejo de materiales abarca desde análisis descriptivos (qué ocurrió) hasta análisis prescriptivos (qué hacer). Entre las aplicaciones de mayor impacto se encuentran:

- La **optimización de rutas dinámica** utiliza datos en tiempo real so-

bre la ubicación de operadores, la disponibilidad de equipos y los tiempos de espera en estaciones para calcular rutas óptimas de *picking*. A diferencia de los sistemas tradicionales que asignan zonas fijas, los algoritmos de optimización dinámica reasignan continuamente tareas para balancear la carga de trabajo y minimizar distancias recorridas.

- El **análisis de cuellos de botella** identifica puntos de congestión en el flujo de materiales mediante el análisis de tiempos de ciclo en cada estación. Los algoritmos de *machine learning* pueden detectar patrones de congestión antes de que sean visibles para los supervisores humanos, permitiendo acciones correctivas anticipadas.
- La **segmentación dinámica ABC** actualiza continuamente la clasificación de productos según su rotación, utilizando datos de demanda en tiempo real en lugar de análisis históricos periódicos. Esta clasificación dinámica permite ajustar automáticamente la ubicación de productos, asignando las posiciones más accesibles a los productos que en cada momento tienen mayor rotación.
- La **predicción de demanda** utiliza modelos de series temporales y *machine learning* para anticipar volúmenes de actividad con mayor precisión que los métodos tradicionales de pronóstico. Estas predicciones permiten dimensionar recursos (personal, equipos y espacio) de manera más ajustada a la demanda real, reduciendo costos de capacidad ociosa y evitando falta de capacidad en picos.
- La **detección de anomalías** identifica automáticamente desviaciones de los patrones normales de operación que podrían indicar problemas. Por ejemplo, un aumento repentino en el tiempo de ciclo de una estación de *picking* podría indicar una dificultad técnica o de abastecimiento que *requiere* intervención antes de que afecte el flujo global.

## Arquitectura de datos y plataformas

La implementación efectiva de Big Data en manejo de materiales requiere una arquitectura de datos que integre fuentes heterogéneas y proporcione capacidades de procesamiento tanto por lotes (*batch*) como en tiempo real (*streaming*). Las plataformas de datos modernas combinan:

- **Data lakes** que almacenan datos en su formato original, sin transformación previa, permitiendo flexibilidad para análisis futuros no previstos en el diseño inicial.
- **Procesamiento en streaming** que analiza datos a medida que se generan, permitiendo respuestas en tiempo real del orden de milisegundos.
- **Plataformas de visualización** que presentan información compleja de manera intuitiva a operadores y supervisores, facilitando la toma de decisiones basada en datos.
- **APIs de integración** que conectan los sistemas de manejo de materiales con los sistemas empresariales (WMS y ERP) y con sistemas de socios comerciales.

### 3.4 Gemelos Digitales (*digital twins*) en el manejo de materiales

El gemelo digital (*digital twin*) es una de las aplicaciones más transformadoras de la Industria 4.0 en el manejo de materiales. Se define como la representación virtual de un sistema físico que refleja su estado, comportamiento y evolución en tiempo real, permitiendo simulación, análisis y control bidireccional.

A diferencia de los modelos de simulación tradicionales, que representan el sistema en un momento dado para análisis aislados, el gemelo digital mantiene una conexión continua con su contraparte física, actualizándose con datos en tiempo real y permitiendo no solo observar, sino también influir en el comportamiento del sistema físico.

#### Evolución desde la simulación tradicional

La simulación tradicional ha sido durante décadas una herramienta fundamental en el diseño de sistemas de manejo de materiales. Herramientas como FlexSim, AnyLogic y Simio permiten modelar operaciones complejas y evaluar alternativas de diseño antes de implementarlas físicamente. Sin embargo, estas simulaciones tradicionales presentan limitaciones importantes: representan el sistema en condiciones promedio o de diseño, no en tiempo real; requieren intervención manual para incorporar cambios; y no mantienen una conexión continua con el sistema físico.

El gemelo digital supera estas limitaciones al mantener una sincronización continua entre el modelo virtual y el sistema físico. Los datos de sensores y sistemas operativos alimentan constantemente el modelo, que refleja con fidelidad el estado actual del sistema. A su vez, las simulaciones y análisis realizados en el gemelo digital pueden retroalimentar el sistema físico, ajustando parámetros operativos o señalando intervenciones necesarias.

## Arquitectura y componentes del gemelo digital

Un gemelo digital para manejo de materiales integra tres componentes fundamentales:

**El modelo físico** representa la geometría, disposición espacial y características físicas de la instalación, equipos y materiales. Este modelo, típicamente construido en entornos 3D, refleja con precisión las dimensiones, restricciones de movimiento y relaciones espaciales del sistema real.

**El modelo de comportamiento** captura la lógica operativa: cómo los equipos responden a estímulos, cómo los materiales fluyen a través del sistema, cómo se toman decisiones de asignación y ruteo. Este modelo se basa en datos históricos de operación y reglas de negocio.

**La conexión de datos en tiempo real** sincroniza continuamente el gemelo con el sistema físico, actualizando posiciones, estados y métricas de desempeño con latencia mínima. Esta conexión utiliza los mismos sensores y sistemas de IoT que operan en la instalación física.

## Aplicaciones del gemelo digital en manejo de materiales

La aplicación de gemelos digitales en manejo de materiales abarca el ciclo de vida completo del sistema, desde el diseño hasta la operación y mejora continua:

**En la fase de diseño**, el gemelo digital permite probar virtualmente configuraciones alternativas de *layout*, seleccionar equipos y dimensionar capacidades antes de realizar inversiones físicas. A diferencia de la simulación tradicional, que proporciona resultados agregados, el gemelo digital permite visualizar el comportamiento del sistema bajo condi-

ciones específicas de demanda, con precisión suficiente para validar decisiones de inversión.

**En la puesta en marcha**, el gemelo digital sirve como entorno de prueba para sistemas de control y gestión. Antes de que los equipos físicos estén instalados, los algoritmos de control pueden ser probados y afinados en el gemelo, reduciendo significativamente el tiempo de puesta en marcha y los riesgos asociados a errores en la programación.

**En la operación diaria**, el gemelo digital proporciona una vista unificada del estado del sistema. Un supervisor puede visualizar en una pantalla la ubicación de todos los equipos, los niveles de inventario en cada zona, los cuellos de botella emergentes y las métricas de productividad en tiempo real, todo integrado en una representación coherente del sistema.

**En la planificación de contingencia**, el gemelo digital permite simular el impacto de eventos disruptivos (falla de un equipo, pico inesperado de demanda, ausencia de personal) y evaluar alternativas de respuesta. Cuando ocurre una contingencia real, el sistema puede recomendar el curso de acción óptimo basado en simulaciones previamente realizadas.

**En la mejora continua**, el gemelo digital identifica oportunidades de optimización que no serían evidentes mediante análisis tradicionales. Al analizar patrones de operación en el gemelo, pueden identificarse ineficiencias sistémicas y evaluarse el impacto potencial de cambios antes de implementarlos.

## Casos de aplicación emergentes

La evolución de los gemelos digitales está abriendo nuevas fronteras de aplicación. Los gemelos digitales de procesos se centran en la optimización de flujos, modelando no solo la disposición física, sino también la lógica de operación y toma de decisiones. Estos gemelos permiten experimentar con cambios en políticas de operación (por ejemplo, priorización de pedidos urgentes) sin interrumpir la operación real.

Los gemelos digitales de equipos se enfocan en el comportamiento de activos individuales, como montacargas, transportadores o AS/RS. Al modelar con precisión el desgaste, consumo energético y modos de falla de los equipos, estos gemelos permiten optimizar programas de mantenimiento y predecir la vida útil remanente.

Los gemelos digitales de productos representan la trayectoria de materiales a lo largo de la cadena de suministro, integrando datos de múltiples instalaciones y socios. Estos gemelos proporcionan visibilidad de extremo a extremo, permitiendo rastrear un producto desde su fabricación hasta su entrega, con información detallada de todas las manipulaciones y condiciones ambientales durante el tránsito.

La convergencia de gemelos digitales con inteligencia artificial está permitiendo la optimización autónoma, donde el sistema no solo identifica oportunidades de mejora, sino que implementa los cambios automáticamente. Por ejemplo, un gemelo digital que detecta un cuello de botella recurrente puede reasignar recursos o ajustar prioridades sin intervención humana, manteniendo el sistema en un estado continuamente óptimo.

### **3.5 Convergencia de tecnologías: hacia el manejo de materiales autónomo**

El verdadero potencial transformador de la Industria 4.0 en el manejo de materiales reside no en la aplicación aislada de cada tecnología, sino en su convergencia e integración. La combinación de IoT (que conecta y captura datos), Big Data y analítica (que extrae inteligencia), gemelos digitales (que simula y optimiza) y tecnologías de ejecución autónoma (robots, AGV y AMR) está dando lugar a sistemas de manejo de materiales autónomos que operan con mínima intervención humana.

#### **Sistema de manejo de materiales autónomo**

Un sistema de manejo de materiales autónomo integra estas capacidades en un ciclo continuo: los sensores IoT capturan datos del entorno físico en tiempo real; la analítica avanzada procesa estos datos para extraer información sobre el estado del sistema y predecir evolución; el gemelo digital simula alternativas de acción y selecciona la óptima; y los equipos autónomos ejecutan las acciones determinadas, completando el ciclo de control.

La autonomía en manejo de materiales no es binaria (autónomo vs. no autónomo), sino que existe en un espectro. En los primeros niveles, la automatización es restringida y requiere supervisión humana constante. En



niveles intermedios, el sistema opera de manera autónoma en condiciones normales, pero requiere intervención humana en situaciones excepcionales. En los niveles más avanzados, el sistema es capaz de manejar situaciones excepcionales de manera autónoma, reservando la intervención humana para decisiones estratégicas.

## **Desafíos de implementación**

La adopción de estas tecnologías enfrenta desafíos significativos. La integración de sistemas es compleja, requiriendo conectar equipos y software de múltiples proveedores con diferentes estándares y protocolos. Las habilidades organizacionales necesarias difieren de las tradicionales, demandando perfiles de data scientist, ingenieros de automatización y especialistas en IoT que no siempre están disponibles en el mercado laboral. La seguridad cibernética se convierte en una preocupación crítica, pues sistemas conectados son potencialmente vulnerables a ataques que podrían interrumpir operaciones o comprometer datos sensibles. La escalabilidad requiere que las soluciones piloto puedan expandirse a toda la operación sin perder efectividad ni generar complejidad descontrolada.

## **El futuro del manejo de materiales**

Las tendencias emergentes apuntan hacia sistemas de manejo de materiales cada vez más inteligentes, conectados y autónomos. La robótica colaborativa evoluciona hacia la colaboración fluida entre humanos y robots, donde cada uno aporta sus fortalezas: los robots la precisión, fuerza y consistencia; los humanos la flexibilidad cognitiva y capacidad de adaptación. La visión artificial avanzada permite a los sistemas reconocer y manipular productos sin necesidad de etiquetas de identificación, basándose únicamente en sus características visuales. Los sistemas de recomendación basados en IA orientan a los operadores en tiempo real sobre las decisiones más eficientes, funcionando como copilotos inteligentes.

La cadena de suministro como plataforma integra datos de múltiples organizaciones en gemelos digitales compartidos, proporcionando visibilidad y coordinación sin precedentes a lo largo de toda la cadena de suministro global.

La Cuarta Revolución Industrial está transformando fundamentalmente el manejo de materiales, introduciendo niveles de conectividad, inteligencia y autonomía que redefinen los límites de la eficiencia operativa. El Internet de las Cosas (IoT) proporciona la capa de sensores y conectividad que convierte los sistemas tradicionalmente "mudos" en nodos inteligentes que comunican continuamente su estado, ubicación y actividad. Esta visibilidad sin precedentes sobre las operaciones permite capturar datos en volúmenes, velocidades y variedades que hasta hace poco eran impensables.

El Big Data y la analítica avanzada transforman estos datos masivos en inteligencia operativa. Algoritmos de machine learning identifican patrones que escapan a la observación humana, predicen demandas y fallas, optimizan rutas en tiempo real y detectan anomalías antes de que se conviertan en problemas. Esta inteligencia permite pasar de una gestión reactiva, que responde a problemas después de ocurridos, a una gestión predictiva y prescriptiva, que anticipa y previene.

Los gemelos digitales representan la integración más avanzada de estas capacidades, creando representaciones virtuales sincronizadas con los sistemas físicos que permiten simular, analizar y optimizar en tiempo real. A diferencia de los modelos de simulación tradicionales, los gemelos digitales mantienen una conexión continua con su contraparte física, actualizándose con datos en tiempo real y permitiendo no solo observar, sino también influir en el comportamiento del sistema.

La convergencia de estas tecnologías —IoT, Big Data, gemelos digitales y sistemas de ejecución autónoma— está dando lugar a sistemas de manejo de materiales autónomos que operan con mínima intervención humana. Estos sistemas no solo ejecutan tareas eficientemente, sino que continuamente aprenden y se adaptan, mejorando su desempeño con la experiencia.

El camino hacia la adopción de estas tecnologías presenta desafíos significativos: integración de sistemas heterogéneos, desarrollo de nuevas habilidades organizacionales, gestión de riesgos de seguridad cibernética y escalabilidad de soluciones piloto. Sin embargo, los beneficios potenciales —incrementos de productividad del 20-40 %, reducciones de costos operativos del 15-30 %, mejoras en precisión del 99,9 %, y niveles de flexibilidad y capacidad de respuesta inalcanzables con tecnologías tradicionales— justifican el esfuerzo.

Para el profesional del manejo de materiales, el dominio de estas tecnologías y la comprensión de su integración sistémica se están convirtiendo en competencias fundamentales. La capacidad de diseñar, implementar y operar sistemas que integren lo físico y lo digital determinará la competitividad de las organizaciones en un entorno donde la excelencia operativa ya no es una ventaja diferenciadora, sino un requisito de supervivencia.



# Capítulo 15

---

**Casos de estudio y ejemplos de aplicación:  
Análisis de casos reales en diferentes  
industrias para integrar todos los conceptos**

## **4.1 Introducción: El valor del aprendizaje a través de casos reales**

A lo largo de este libro se han desarrollado los fundamentos conceptuales, las tecnologías disponibles, los principios de diseño y las dimensiones transversales que conforman la disciplina del manejo de materiales. Sin embargo, la verdadera integración de estos conocimientos se alcanza cuando se observa su aplicación en contextos reales, donde las decisiones de diseño deben equilibrar objetivos técnicos, económicos, humanos y estratégicos en entornos con restricciones concretas.

Los casos de estudio que se presentan en esta sección han sido seleccionados por su capacidad para ilustrar la aplicación integrada de múltiples conceptos desarrollados en capítulos anteriores. Cada caso aborda una industria diferente —manufactura, distribución minorista, comercio electrónico, minería y logística de autopartes— y destaca cómo la combinación de análisis de flujo, selección de equipos, principios de almacenamiento, tecnologías de identificación y consideraciones de sostenibilidad se materializan en resultados cuantificables.

La estructura de cada caso sigue una lógica común: se describe el desafío operativo inicial, se analizan las soluciones implementadas con referencia a los principios y tecnologías correspondientes, y se presentan los resultados obtenidos. Al final de la sección, se incluye un análisis transversal que sintetiza las lecciones comunes y los factores críticos de éxito que emergen a través de los diferentes sectores industriales.

## **4.2 Caso 1: Automatización de movimiento en manufactura (C3 corporation–Industria de espumas)**

### **Contexto y desafío**

C3 Corporation, una empresa integradora con sede en Wisconsin, identificó un problema recurrente en plantas manufactureras de diversos sectores: hasta el 50 % del tiempo de inactividad de las máquinas era causado por la entrega ineficiente de materiales. Este problema era particularmente

agudo en la industria de fabricación de colchones y componentes de espuma, donde los materiales son voluminosos, pero relativamente livianos y donde el espacio de almacenamiento disponible suele ser limitado.

La operación tradicional dependía de montacargas convencionales para el movimiento de materiales desde la recepción hasta las líneas de producción. Este enfoque presentaba múltiples inefficiencias: los recorridos eran largos, la utilización del espacio vertical era limitada, y la coordinación entre la disponibilidad de materiales y la programación de producción era imprecisa. Adicionalmente, los montacargas requerían pasillos anchos que consumían espacio valioso que podría destinarse a almacenamiento.

## Solución implementada

C3 desarrolló un sistema de pórtico robótico (*pick and place gantry*) automatizado para la recepción, almacenamiento y entrega de materiales a las líneas de producción. El sistema opera sobre tres ejes de movimiento: longitudinal (sobre rieles de longitud ilimitada), vertical (hasta aproximadamente 9 metros) y lateral (80 pulgadas en ambas direcciones), permitiendo el almacenamiento en ambos lados del riel.

La solución integra múltiples conceptos desarrollados en este libro. En términos de principios de manejo de materiales, aplica el principio de automatización al reemplazar operadores de montacargas por un sistema controlado computacionalmente, y el principio de utilización del espacio al extender el almacenamiento desde el piso hasta el techo, duplicando o triplicando la capacidad de almacenamiento en la misma huella física. También incorpora el principio de estandarización mediante la integración de toda la operación en un único sistema de control.

En cuanto a tecnologías, el sistema utiliza controladores lógicos programables CompactLogix y variadores de frecuencia PowerFlex 755 que proporcionan el control de alta resolución requerido para los tres ejes de movimiento. Una característica particularmente relevante es la función TorqProve, un algoritmo que permite al variador monitorear y mantener la posición de la carga, y bajarla de manera segura y controlada en caso de interrupción de energía. Esta funcionalidad aborda el principio de seguridad al eliminar el riesgo de caída de cargas durante emergencias.

La integración con sistemas de información se logra mediante conectividad Ethernet/IP, que permite la comunicación en tiempo real con el sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) del cliente. Esta conectividad posibilita que la entrega de materiales se genere automáticamente en función de los requerimientos de producción, aplicando el principio de flujo de material con sincronización justo a tiempo.

## **Resultados y lecciones**

Los resultados del primer sistema instalado superaron ampliamente las expectativas. El sistema alcanzó su objetivo inicial de velocidad (aproximadamente 38 metros por minuto o un ciclo por minuto) inmediatamente después de la instalación. Dentro de las dos semanas posteriores a la puesta en servicio, el sistema operaba a más de 53 metros por minuto, completando un ciclo cada 30 a 40 segundos.

Este caso ilustra varios principios fundamentales para la implementación exitosa de automatización en manejo de materiales. En primer lugar, la integración sistémica, un solo sistema unificado en lugar de múltiples sistemas aislados, facilita el soporte y la mejora continua a largo plazo. En segundo lugar, la escalabilidad de la solución permite su adaptación a diferentes industrias más allá de la aplicación inicial en espumas, incluyendo papel y otros materiales.

Finalmente, el caso demuestra cómo la automatización selectiva —automatizar las tareas de mayor volumen y mayor impacto— puede generar retornos rápidos mientras se mantiene la flexibilidad operativa.

### **4.3 Caso 2: Transformación de flujo con vehículos guiados automatizados (Rika–Industria metalúrgica)**

#### **Contexto y desafío**

Rika, un fabricante de productos de metal laminado con una producción anual superior a 12 000 toneladas, enfrentaba desafíos operativos significativos en su manejo de materiales. La operación implicaba el movimiento



de más de 1000 pallets diarios, alcanzando picos de hasta 80 viajes por hora, todos realizados manualmente por operadores de montacargas.

Esta dependencia del manejo manual generaba tres problemas interrelacionados: una carga física significativa sobre el personal, errores en el almacenamiento y recuperación que causaban retrasos en las entregas y restricciones operativas debido a pasillos extremadamente estrechos con alturas de almacenamiento superiores a 5 metros.

## **Solución implementada**

Rika implementó una flota de nueve apiladores automáticos Jungheinrich EKS 215a para el transporte de materias primas y productos terminados. Estos vehículos guiados automatizados (AGV) fueron seleccionados específicamente por su ancho inferior a 91 cm, que les permite operar en los pasillos estrechos de la instalación.

La solución incorpora varias tecnologías avanzadas. Los AGV están equipados con sensores que detectan la altura y el peso de cada pallet, permitiendo un manejo adaptativo a las variaciones de carga. Las horquillas son autoportantes y antideslizantes, diseñadas para facilitar el almacenamiento a alturas de hasta 5.2 metros. La tecnología de baterías de ion-litio alimenta los vehículos, con estaciones de carga automática distribuidas en la instalación que permiten la recarga durante los períodos de inactividad, garantizando disponibilidad continua.

Un aspecto distintivo de esta implementación es el modelo de trabajo híbrido: mientras que la mayor parte del transporte es realizado por los AGV, la etapa final del recorrido del producto es ejecutada por un operario. Esta sinergia entre máquina y persona ha demostrado ser particularmente eficiente para esta operación. Adicionalmente, se implementaron 2500 posiciones de pallet en estanterías y un software de automatización personalizado que gestiona las estaciones de transferencia ubicadas en pisos, estanterías y carros en el área de producción.

## Resultados y lecciones

La transformación del flujo de materiales en Rika generó mejoras significativas en eficiencia y precisión. El transporte automatizado de mercancías, combinado con montacargas manuales para tareas específicas, aumentó la eficiencia global. La precisión en el almacenamiento y recuperación mejoró sustancialmente, reduciendo los retrasos en entregas. Los operadores fueron reasignados a tareas de mayor valor agregado y mayor complejidad, optimizando la utilización del talento humano.

Este caso ilustra la importancia de seleccionar equipos adaptados a las restricciones físicas de la instalación. Los AGV de perfil estrecho fueron la clave para introducir automatización en una instalación con pasillos que no podían ampliarse. También demuestra cómo la automatización no tiene que ser total para ser efectiva; el modelo híbrido AGV-operario combina la eficiencia de los sistemas automatizados para movimientos repetitivos con la flexibilidad del juicio humano para tareas que requieren adaptación.

### **4.4 Caso 3: Optimización de operaciones con equipos especializados (HUBTEX–Industria de plásticos)**

#### **Contexto y desafío**

Un fabricante internacional de productos plásticos y polímeros enfrentaba el desafío de transportar bastidores de perfil de hasta 6 metros de longitud dentro de pasillos extremadamente estrechos de solo 2.02 metros de ancho. La operación tradicional requería maniobras complejas y prolongadas para ingresar a los pasillos de almacenamiento, lo que generaba tiempos muertos significativos y un riesgo elevado de daños a la carga, al equipo y a las estanterías.

#### **Solución implementada**

La empresa implementó el apilador lateral multidireccional eléctrico HUBTEX Phoenix, un equipo especializado diseñado para el manejo de cargas largas en espacios reducidos. La solución incorpora dos tecnologías de asistencia semiautomatizada que transformaron la operación.

El Asistente de Entrada a Pasillo (*Aisle Entry Assist*), basado en sensores, permite el ingreso semiautomatizado, preciso y rápido a los pasillos de estanterías. Esta tecnología elimina las maniobras de ajuste que previamente consumían hasta 10 segundos por movimiento. El Gestor de Carga (*Load Manager*) integra alturas y ubicaciones de almacenamiento preprogramadas, permitiendo que el vehículo se desplace automáticamente al nivel de estantería requerido con solo presionar un botón, eliminando los segundos de ajuste fino durante el almacenamiento y la recuperación.

El equipo utiliza tecnología de baterías de ion-litio con carga intermedia inteligente, que permite recargar del 30 % al 80 % en solo 30 minutos, eliminando los cambios de batería y liberando el espacio previamente destinado al almacenamiento de baterías de repuesto. La conversión a dirección eléctrica redujo el consumo energético total en operación en un 20 %.

## Resultados y lecciones

Los resultados de esta implementación fueron reconocidos con el premio Archie 2025 en la categoría de Eficiencia Operativa por la Asociación Británica de Manejo de Materiales (UKMHA). Sin aumentar la dotación de personal, se recuperaron más de 1600 horas de trabajo anuales, reduciendo al mismo tiempo la carga física sobre los operadores.

El impacto en la productividad del personal fue particularmente notable: el tiempo de incorporación de nuevos operadores se redujo de tres meses a solo dos semanas, una disminución del 85 %. Esta mejora se atribuye a la combinación de semiautomatización con operación intuitiva del equipo. Adicionalmente, la precisión mejorada redujo virtualmente a cero los daños al vehículo, la carga y las estanterías.

Este caso ilustra el valor de los equipos especializados para aplicaciones específicas —en este caso, cargas largas en pasillos estrechos— sobre soluciones de propósito general. También demuestra cómo la semiautomatización selectiva de las maniobras más críticas (entrada a pasillo, posicionamiento vertical) puede generar beneficios comparables a la automatización completa con menor complejidad e inversión. Finalmente, el caso evidencia los beneficios de la tecnología de ion-litio no solo en eficiencia energética, sino también en flexibilidad operativa y liberación de espacio.

## 4.5 Caso 4: Transformación integral en distribución minorista (Crate & Barrel)

### Contexto y desafío

Crate & Barrel, un minorista líder en artículos para el hogar, enfrentaba un desafío estratégico: gestionar dos flujos de distribución fundamentalmente diferentes —reabastecimiento de tiendas y cumplimiento directo de pedidos en línea— desde operaciones separadas, con costos crecientes y complejidad operativa. La empresa buscaba consolidar ambas operaciones en una sola instalación, compartiendo un mismo inventario, pero atendiendo procesos con perfiles de pedido radicalmente distintos.

### Solución implementada

En colaboración con Daifuku-Wynright, Crate & Barrel diseñó un centro de distribución de 800 000 pies cuadrados que integra módulos de preparación de pedidos de tres niveles, estaciones de trabajo con valor agregado, estaciones de verificación de pedidos, estaciones de embalaje y sistemas de clasificación por zapatas deslizantes (*shoe sorter*) y ruedas emergentes (*pop-up wheel sorter*). La instalación incorpora capacidades de cross-docking para productos de alta rotación.

La solución aplica múltiples principios de diseño. El principio de integración se materializa en la consolidación de ambos flujos bajo un mismo techo, compartiendo sistemas comunes de recepción, almacenamiento y expedición. El principio de sistema se evidencia en la integración de todos los componentes —desde los módulos de *picking* hasta los sistemas de clasificación— en un flujo coordinado. El principio de flexibilidad se refleja en la capacidad del sistema para manejar tanto pedidos de tienda (lotes grandes y SKU variados) como pedidos directos al consumidor (unidades individuales y alta velocidad).

## Resultados y lecciones

Los resultados de la consolidación fueron sustanciales. La instalación despacha un promedio de 35 000 cajas diarias, alcanzando picos de 70 000 durante la temporada navideña. El daño a productos se redujo en un 50 %, y las devoluciones disminuyeron a menos del 2 %. La precisión en el cumplimiento alcanzó el 99,9 %, un estándar de clase mundial.

Este caso ilustra cómo la consolidación de flujos bajo una misma infraestructura puede generar economías de escala y reducción de costos sin sacrificar la especificidad de cada proceso. También demuestra la importancia de la escalabilidad en el diseño: el sistema fue concebido para crecer con el negocio, manejando el aumento de SKU y la complejidad de inventario asociada a la expansión del comercio electrónico.

### 4.6 Caso 5: Mejora de precisión y reducción de daños en logística de autopartes (fabricante automotriz)

#### Contexto y desafío

Un fabricante líder de automóviles en América del Norte enfrentaba una tasa elevada de daños en piezas de acabado (*trim parts*), los componentes con mayor incidencia de daño en su red de almacenes. Estos daños generaban reclamaciones, quejas de concesionarios y retrasos en reparaciones de clientes cuando las piezas debían ser reenviadas.

#### Solución implementada

En colaboración con Unipart, su socio logístico, el fabricante implementó un conjunto integrado de mejoras en procesos, empaques y equipos. El primer paso fue un análisis exhaustivo del flujo de materiales para identificar dónde y cuándo ocurrían los daños, abarcando desde la recepción hasta el almacenamiento, la preparación de pedidos y el envío.

Basado en este análisis, se introdujeron tres mejoras específicas. Se implementaron contenedores tipo tubulares para el almacenamiento de

piezas de acabado, protegiéndolas de flexión y aplastamiento. Se retiraron todas las piezas de acabado de los niveles altos de almacenamiento, restringiendo su manipulación exclusivamente a preparación de pedidos peatonal (*pedestrian pick only*), eliminando el riesgo de daño por montacargas o equipos automatizados. En colaboración con el proveedor de empaques de cartón corrugado, se diseñó una nueva caja de envío específicamente adaptada para proteger las piezas de acabado durante el tránsito. Adicionalmente, se desarrollaron carros de preparación de pedidos a medida, tapizados y con compartimentos especializados para estabilizar componentes largos y delicados durante la manipulación interna.

## **Resultados y lecciones**

El esfuerzo combinado resultó en una reducción del 57 % en los reclamos por daños en piezas de acabado en toda la red de almacenes del fabricante en América del Norte. Las quejas de concesionarios y los retrasos en reparaciones disminuyeron significativamente.

Este caso ilustra cómo las mejoras en manejo de materiales no requieren necesariamente grandes inversiones en automatización para generar resultados sustanciales.

La combinación de análisis de flujo, rediseño de empaques, cambios en procesos de almacenamiento y equipos especializados —aplicando principios como el de unitarización (contenedores protectores) y ergonomía (carros especializados)— puede generar reducciones dramáticas en daños y mejoras en calidad de servicio. También destaca la importancia de la colaboración entre el fabricante, su socio logístico y sus proveedores para lograr soluciones integradas.

## 4.7 Caso 6: Transformación digital en minería (*Tokatindung Gold Mine*)

### Contexto y desafío

La mina de oro Tokatindung en Indonesia, operada por PT Archi Indonesia, inició operaciones en 2020 con sistemas de comunicación manuales para coordinar camiones y flujos de material. Esta falta de visibilidad en tiempo real generaba tiempos de espera prolongados en colas, períodos de inactividad de equipos y dificultades para optimizar la mezcla de materiales (*blending*) requerida para el procesamiento.

### Solución implementada

La mina implementó OP Pro, un sistema de gestión de flotas (Fleet Management System) de Hexagon, diseñado para optimizar el transporte, la mezcla de materiales y la automatización de flujos de trabajo. El sistema proporciona mediciones en tiempo real que permiten monitorear cada aspecto del movimiento de material desde el banco de extracción hasta la planta de procesamiento.

Complementariamente, se implementó el Sistema de Alerta al Operador (*Operator Alertness System*), una solución integrada de gestión de fatiga y distracción que monitorea continuamente el estado de los operadores y emite alertas ante signos de fatiga o falta de atención.

### Resultados y lecciones

En el primer año de operación, los resultados superaron las expectativas. La productividad de camiones aumentó en un 28 %. Los tiempos de espera en cola se redujeron en un 16 %, permitiendo que cargadores, trituradoras y pilas de almacenamiento recibieran material más rápidamente. Los tiempos de inactividad (*hang time*) se redujeron en un 4 %, asegurando que los camiones pasaran menos tiempo ociosos entre carga y descarga. El consumo de combustible se redujo en un 31 %, generando beneficios tanto económicos como ambientales.

En el frente de seguridad, las alertas relacionadas con fatiga disminuyeron en un 79 %, y la mina reportó cero incidentes de seguridad relacionados con fatiga en los tres años posteriores a la implementación.

Este caso ilustra el poder de la digitalización de flujos en operaciones de manejo de materiales a gran escala. A diferencia de los casos anteriores, donde las mejoras provinieron de equipos físicos, aquí la transformación se logró mediante datos y analítica que proporcionaron visibilidad en tiempo real y permitieron la optimización continua. Como señaló el jefe de operaciones mineras de PT Archi Indonesia: "No hay manera de que podamos operar una mina de manera eficiente a menos que la midamos".

## **4.8 Análisis Transversal: factores críticos de éxito**

A través de los seis casos presentados, emergen patrones comunes que constituyen factores críticos de éxito en proyectos de mejora del manejo de materiales:

### **1. Análisis de flujo como base de la solución**

En todos los casos, las soluciones exitosas comenzaron con un análisis riguroso del flujo de materiales existente. En el caso del fabricante automotriz, el análisis identificó los puntos específicos donde ocurrían los daños; en Rika, el análisis de volúmenes y frecuencias determinó la escala de automatización requerida; en Tokatindung, la falta de visibilidad del flujo fue precisamente el problema que la digitalización vino a resolver.

### **2. Integración de tecnologías complementarias**

Ninguno de los casos exitosos dependió de una única tecnología. La solución de C3 combinó pórtico robótico, controladores programables y variadores de frecuencia. La de Hamilton Beach integró montacargas eléctricos, telemetría y diseño de almacenamiento de alta densidad. La de HUBTEX combinó equipos especializados con sensores de asistencia y baterías de ion-litio. Esta integración de tecnologías complementarias permitió abordar múltiples dimensiones del problema simultáneamente.

### **3. Enfoque híbrido humano-máquina**

Varios casos (Rika, HUBTEX y Crate & Barrel) adoptaron modelos híbridos donde la automatización se concentra en tareas repetitivas o de



alto riesgo, mientras que los operadores mantienen roles que requieren juicio, adaptación o interacción con el cliente. Este enfoque reconoce que la automatización total no siempre es óptima, y que la colaboración humano-máquina puede ofrecer lo mejor de ambos mundos.

#### **4. Medición rigurosa de resultados**

Todos los casos presentan métricas cuantificables que permiten evaluar el éxito de la implementación: desde porcentajes de mejora en productividad hasta reducciones en costos, daños y tiempos de ciclo. Estas mediciones no solo validan la inversión, sino que proporcionan la base para la mejora continua.

#### **5. Consideración de sostenibilidad**

Los casos más recientes (Hamilton Beach y HUBTEX) incorporan explícitamente la sostenibilidad como criterio de selección, con la transición a equipos eléctricos, baterías de ion-litio y reducción de consumo energético. Esta tendencia refleja la creciente importancia de la dimensión ambiental en las decisiones de manejo de materiales.

#### **6. Integración con sistemas de información**

La conexión con sistemas ERP, WMS o sistemas de gestión de flotas fue un componente crítico en la mayoría de los casos, permitiendo que las decisiones de manejo de materiales estuvieran alineadas con los requerimientos de producción y los compromisos con clientes.

Los casos de estudio presentados en esta sección demuestran que el manejo de materiales, lejos de ser una disciplina de aplicación homogénea, se manifiesta de manera diversa en diferentes contextos industriales, adaptándose a las restricciones y oportunidades de cada sector.

En la manufactura, los casos de C3 Corporation y HUBTEX ilustran cómo la automatización de movimientos repetitivos y la especialización de equipos pueden transformar la productividad y liberar espacio. En la distribución minorista, el caso de Crate & Barrel muestra cómo la consolidación de flujos bajo un mismo techo puede generar economías de escala sin sacrificar la especificidad de cada canal. En el comercio electrónico, el caso de Perufarma (presentado en la literatura) evidencia cómo la automatización de almacenamiento puede acelerar el cumplimiento de pedidos en entornos de alta variabilidad. En la logística de autopartes, el caso del fa-

bricante automotriz demuestra que mejoras en empaques, procesos y equipos especializados pueden reducir drásticamente los daños. En la minería, el caso de Tokatindung ilustra el poder transformador de la digitalización y la analítica en operaciones de gran escala.

A través de estos casos, emergen factores críticos de éxito transversales: la importancia del análisis de flujo como base de cualquier intervención, la integración de tecnologías complementarias, el enfoque híbrido que combina automatización con juicio humano, la medición rigurosa de resultados, la creciente consideración de la sostenibilidad y la integración con sistemas de información que permiten decisiones alineadas con los objetivos del negocio.

Para el profesional del manejo de materiales, estos casos ofrecen no solo inspiración, sino también lecciones prácticas aplicables a sus propios contextos. La variedad de industrias, escalas y enfoques demuestra que no existe una única "mejor práctica", sino un conjunto de principios que, aplicados con criterio y adaptados a las circunstancias específicas, permiten diseñar sistemas de manejo de materiales que generan ventajas competitivas sostenibles.

# V

---

## **Actividades complementarias**

## Introducción

La transición del conocimiento teórico a la aplicación práctica constituye una fase esencial en la formación de profesionales en el área de manejo de materiales. Este capítulo se dedica exclusivamente a la descripción y desarrollo de prácticas de laboratorio diseñadas para complementar y reforzar los conceptos fundamentales expuestos en los capítulos precedentes. Las actividades aquí propuestas buscan simular entornos operativos reales, permitiendo a los estudiantes interactuar con equipos, tecnologías y procedimientos representativos de los desafíos actuales en la gestión logística e industrial.

Cada práctica de laboratorio ha sido estructurada bajo un enfoque pedagógico que integra objetivos de aprendizaje claros, metodologías estandarizadas y criterios de evaluación específicos. Se incluyen ejercicios que abarcan desde la configuración de sistemas de almacenamiento y la operación segura de equipos de manejo, hasta el diseño y optimización de flujos de materiales mediante herramientas de simulación computacional. Adicionalmente, se incorporan actividades relacionadas con la unitarización de cargas, el análisis de ergonomía en estaciones de trabajo y la implementación de tecnologías de identificación automática.

El diseño de estas prácticas considera tanto entornos presenciales, utilizando infraestructura de laboratorios especializados, como escenarios virtuales, aprovechando plataformas de simulación digital que replican sistemas complejos de manejo de materiales. Esta dualidad asegura la adaptabilidad a diferentes contextos educativos y recursos institucionales, manteniendo siempre el rigor técnico y la relevancia industrial. La ejecución de estas actividades facilitará la consolidación de competencias técnicas y analíticas, preparando a los estudiantes para enfrentar problemas reales con metodologías sistemáticas y basadas en evidencia. Asimismo, fomentará el desarrollo de habilidades colaborativas y de comunicación al trabajar en equipos multidisciplinarios, replicando dinámicas propias de entornos profesionales actuales.

Finalmente, este capítulo establece los protocolos de seguridad requeridos para cada práctica, enfatizando la importancia de procedimientos operativos estandarizados y la gestión de riesgos en entornos de manejo de materiales. La implementación consistente de estas prácticas de laboratorio permitirá cerrar la brecha entre la teoría académica y las exigencias del sector productivo, formando profesionales capacitados para contribuir significativamente a la optimización de cadenas de suministro.



# Práctica de Laboratorio **1**

---

## **Técnicas de flejado y optimización de almacenamiento**

## **Introducción**

El flejado es una operación fundamental en la preparación de mercancías para su almacenamiento y transporte. Esta práctica introduce a los estudiantes en las técnicas de flejado manual y semiautomático, así como en la optimización del espacio en sistemas de almacenamiento tipo rack. Los participantes aprenderán a utilizar diferentes herramientas de flejado (manuales y de tensión), aplicarán diversos patrones de flejado según el tipo de carga y gestionarán eficientemente el espacio disponible en un rack de almacenamiento, todo ello bajo estrictos protocolos de seguridad para prevenir accidentes y asegurar la integridad de la carga.

### **Objetivo general**

Desarrollar competencias prácticas en técnicas de flejado de cargas y optimización del espacio de almacenamiento, aplicando protocolos de seguridad, métodos de organización y trabajo en equipo eficiente.

### **Objetivos específicos**

- Identificar y utilizar correctamente el Equipo de Protección Personal (EPP) para operaciones de flejado.
- Operar diferentes herramientas de flejado (flejadora manual, tensora, cortadora) de forma segura y eficiente.
- Aplicar al menos tres patrones diferentes de flejado (horizontal, cruzado, tipo jaula) según las características de la carga.
- Optimizar el espacio disponible en un rack de almacenamiento considerando frecuencia de acceso y características de las cajas.
- Realizar una simulación de inventario físico aplicando técnicas de conteo cíclico.
- Demostrar comunicación efectiva durante todas las fases de la operación.



## **Lista de materiales y equipos**

### **Equipos de flejado:**

- Rollo de fleje plástico de diferentes medidas
- Flejadora manual
- Tensora y cortadora de fleje
- Pinzas para grapas de fleje
- Dispensador de fleje

### **Materiales de carga:**

- Cajas de plástico de dimensiones estandarizadas
- Palets de madera o plástico
- Material de simulación de peso

### **Estructuras de almacenaje:**

- Rack con 30 espacios organizados en 3 niveles

### **Equipos de seguridad:**

- Conos de delimitación

## **Actividades por integrante (roles y responsabilidades)**

### **1. Supervisor de operaciones**

- Coordina todas las actividades del equipo
- Verifica el cumplimiento de las normas de seguridad
- Distribuye las herramientas y materiales
- Realiza el control de calidad del flejado

### **2. Especialista en flejado**

- Operan las herramientas de flejado
- Aplican los diferentes patrones de flejado
- Realizan el mantenimiento básico de las herramientas
- Enseñan las técnicas a otros miembros del equipo

### **3. Preparador de cargas**

- Organizan las cajas en los palets
- Aplican los principios de estabilidad de cargas
- Preparan las cajas para el flejado
- Etiquetan las cargas flejadas

#### **4. Almacenista**

- Optimizan la disposición en el rack
- Realizan la carga y descarga del rack
- Ejecutan el conteo cíclico
- Mantienen el orden y limpieza del área

### **Procedimiento de la práctica**

#### **Fase 1: Preparación**

- *Briefing* de seguridad y distribución de EPP
- Organización del área de trabajo
- Verificación de herramientas y materiales

#### **Fase 2: Práctica de flejado**

- Demostración de técnicas de flejado
- Práctica de flejado horizontal en palets
- Práctica de flejado cruzado
- Práctica de flejado tipo jaula
- Control de calidad de las uniones

#### **Fase 3: Almacenamiento**

- Diseño de estrategia de almacenamiento
- Carga del rack optimizando espacios
- Conteo cíclico de inventario
- Verificación de accesibilidad

#### **Fase 4: Evaluación**

- Revisión final del trabajo
- Limpieza del área
- *Debriefing and feedback*

## Rubrica de evaluación

| <b>Criterio de Evaluación</b> | <b>Excelente (4)</b>                                        | <b>Competente (3)</b>                               | <b>En Desarrollo (2)</b>                          | <b>No Satisfactorio (1)</b>                 |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Manejo de herramientas        | Uso experto y seguro de todas las herramientas              | Uso correcto con mínimos errores                    | Dificultad en el manejo de herramientas           | Uso peligroso o incorrecto                  |
| Calidad del flejado           | Tensión uniforme, grapas bien colocadas, patrones correctos | Buena tensión, algunas imperfecciones menores       | Tensión irregular, patrones incompletos           | Flejado defectuoso, inseguro                |
| Optimización de espacio       | Uso óptimo del 95 %+ del espacio, organización lógica       | Uso del 85-94 % del espacio, organización funcional | Uso del 70-84 % del espacio, organización regular | Menos del 70 % de uso, desorganizado        |
| Seguridad y EPP               | Cumplimiento total de normas de seguridad, EPP correcto     | Cumplimiento general con mínimas desviaciones       | Múltiples incumplimientos de seguridad            | Comportamiento peligroso, sin EPP           |
| Trabajo en equipo             | Comunicación excelente, roles claros, coordinación perfecta | Buena comunicación, roles definidos                 | Comunicación limitada, roles confusos             | Descoordinación total, no trabajo en equipo |

Calificación final: \_\_\_\_/20



# Práctica de Laboratorio **2**

---

**Ciclo completo de preparación, flejado y  
almacenamiento de mercancías**

## **Introducción**

En los entornos logísticos actuales, la eficiencia en la preparación de mercancías para su almacenamiento es crucial. Esta práctica integra tres operaciones fundamentales: la preparación de cargas, el flejado seguro y el almacenamiento optimizado. Los estudiantes simularán un proceso logístico completo: recibir cajas sueltas, organizarlas en palets, aplicar diferentes técnicas de flejado para su estabilización y, finalmente, transportarlas y almacenarlas en un rack utilizando un patín hidráulico. El ejercicio hace especial hincapié en la seguridad, la correcta aplicación de las técnicas y la coordinación del equipo para lograr un flujo de trabajo eficiente.

### **Objetivo general**

Integrar y aplicar las competencias de preparación de cargas, flejado y operación de patín hidráulico para ejecutar de forma segura y eficiente un ciclo completo de recepción, acondicionamiento y almacenamiento de mercancías en un rack.

### **Objetivos específicos**

- Identificar y utilizar correctamente el Equipo de Protección Personal (EPP) para todas las operaciones.
- Operar las herramientas de flejado (flejadora manual, tensora, cortadora) de forma segura y efectiva.
- Aplicar técnicas de flejado horizontal y cruzado para asegurar cargas paletizadas.
- Operar un patín hidráulico de forma segura para transportar y almacenar palets en un rack.

- Optimizar la disposición de las cargas en el rack, considerando la estabilidad, accesibilidad y aprovechamiento del espacio.
- Demostrar una comunicación clara y un trabajo en equipo coordinado en todas las fases del proceso.

## **Lista de materiales y equipos**

### **Equipos de flejado:**

- Rollos de fleje plástico
- Flejadora manual
- Tensora y cortadora de fleje
- Pinza para grapas de fleje

### **Materiales de carga:**

- Cajas de plástico de dimensiones estandarizadas
- Palets de madera o plástico en buen estado
- Material de simulación de peso para algunas cajas.

### **Equipos de manejo de materiales:**

- Patín hidráulico manual.

### **Estructuras de almacenaje:**

- Rack con espacios organizados

### **Equipos de seguridad:**

- Conos o cinta de delimitación.

## **Lista de equipo de protección personal (EPP) obligatorio**

1. Guantes de trabajo resistentes (para manipular cajas, palets y fleje).
2. Calzado de seguridad de punta reforzada (imprescindible para el operador de patín y quienes estén en la zona de maniobras).
3. Gafas de seguridad (obligatorias para todos durante las operaciones de flejado y corte).
4. Chaleco reflectante (recomendado para mayor visibilidad, especialmente para el operador de patín y el señalista).

## **Actividades por integrante (roles y responsabilidades)**

### **1. Coordinador/supervisor de seguridad**

- Verifica el EPP de todo el equipo y el estado de los equipos.
- Coordina la secuencia de actividades y gestiona el tiempo.
- Autoriza el inicio de cada fase (flejado y transporte).
- Es el responsable final de detener la práctica ante cualquier riesgo.

### **2. Operador de patín hidráulico**

- Realiza la inspección preoperacional del patín (horquillas, ruedas y sistema hidráulico).
- Maneja el patín para transportar los palets flejados desde la zona de preparación hasta el rack.
- Realiza las maniobras de almacenaje y extracción en el rack con precisión y seguridad.

### **3. Especialistas en flejado**

- Inspeccionan el fleje y las herramientas.
- Aplican las técnicas de flejado horizontal y cruzado a los palets preparados.
- Operan la flejadora manual y la tensora/cortadora de forma segura.
- Aseguran la calidad y tensión correcta del flejado.

### **4. Preparador de cargas/paletizador**

- Reciben las cajas sueltas en la "zona de recepción".
- Organizan y estabilizan las cajas sobre los palets aplicando criterios de peso (las más pesadas abajo).
- Entregan el palet listo a los especialistas en flejado.

### **5. Almacenista/señalista**

- Guía al operador del patín durante la inserción y extracción de palets en el rack usando señales de mano estandarizadas.
- Supervisa la correcta ubicación de los palets en el rack, optimizando el espacio.
- Lleva un registro simple de las ubicaciones ocupadas y libres.



## Procedimiento de la práctica

1. **Briefing inicial:** Revisión de objetivos, roles, señales de mano y protocolos de seguridad. Colocación del EPP.
2. **Inspección y preparación:** El operador inspecciona el patín. Los especialistas inspeccionan las herramientas de flejado. Se delimitan las zonas de trabajo.
3. **Fase de paletización y flejado:**
  - Los preparadores de carga reciben las cajas y construyen palets estables.
  - Los especialistas en flejado aplican el patrón de flejado horizontal en la base y mitad del palet, y un flejado cruzado para mayor sujeción si es necesario.
  - El coordinador supervisa la calidad del flejado.
4. **Fase de transporte y almacenaje:**
  - El Operador de Patín, guiado por el Almacenista/Señalista, recoge el palet flejado.
  - Lo transporta por la ruta designada y lo almacena en la ubicación asignada en el rack.
  - Se repite el proceso hasta almacenar 3-4 palets.
5. **Fase de retrieval y devolución:** El equipo debe recuperar un palet específico del rack según instrucciones del coordinador (simulando un pedido) y devolverlo a la zona de preparación.
6. **Debriefing final (15 min):** El equipo se reúne para evaluar la seguridad, la eficiencia del flejado, la coordinación en el transporte y la optimización del espacio.

## Rubrica de evaluación

| Criterio de Evaluación           | Excelente (4)                                                                             | Competente (3)                                               | En Desarrollo (2)                                                    | No Satisfactorio (1)                                      |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Seguridad y EPP                  | EPP completo y correcto en todo momento. Inspecciones realizadas. Conducta impecable.     | EPP correcto. Inspecciones realizadas. Algún descuido menor. | Faltan elementos de EPP. Inspecciones superficiales.                 | Sin EPP. No se realizan inspecciones. Conducta peligrosa. |
| Técnica de flejado               | Patrones correctos, tensión uniforme, grapas bien colocadas. Carga muy estable.           | Patrones correctos. Tensión aceptable. Carga estable.        | Patrones incorrectos o tensión irregular. Carga inestable.           | Flejado defectuoso. Carga insegura.                       |
| Operación del patín              | Manejo suave, controlado y preciso. Señales claras. Maniobras en el rack seguras.         | Manejo seguro. Buena coordinación con el señalista.          | Movimientos bruscos. Dificultad en las maniobras.                    | Falta de control. Operación temeraria.                    |
| Optimización y organización      | Palets estables y bien contruidos. Espacio en el rack optimizado al máximo. Flujo lógico. | Palets estables. Buen uso del espacio. Flujo funcional.      | Palets inestables. Espacio desaprovechado. Flujo con interrupciones. | Desorganización total. No se optimiza el espacio.         |
| Comunicación y trabajo en equipo | Roles claros. Comunicación constante y efectiva. Coordinación perfecta entre fases.       | Roles definidos. Comunicación aceptable. Buena coordinación. | Roles confusos. Comunicación escasa. Descoordinación.                | No hay comunicación. Trabajo individualista.              |

Calificación final: \_\_\_\_/20

# Práctica de Laboratorio **3**

---

## **Principios de almacenamiento seguro y gestión de racks**

## Introducción

La correcta disposición y gestión de los materiales dentro de un almacén es fundamental para la seguridad, la eficiencia operativa y la optimización del espacio. Esta práctica se centra en los principios fundamentales del almacenamiento manual y semiautomático, simulando las operaciones básicas de un centro de distribución. Los estudiantes aprenderán a organizar mercancías en estanterías (racks), aplicando técnicas de sujeción de cargas, principios de estabilidad, métodos de *picking* (preparación de pedidos) y gestión de inventarios, todo ello bajo estrictos protocolos de seguridad que prevengan accidentes y daños a la mercancía.

### Objetivo general

Desarrollar competencias prácticas en la organización, almacenaje y recuperación segura de mercancías simuladas en un sistema de racks, aplicando técnicas manuales de manejo de cargas, principios de ergonomía y comunicación efectiva en equipo.

### Objetivo específico

- Identificar y utilizar correctamente el Equipo de Protección Personal (EPP).
- Aplicar técnicas correctas para el aseguramiento de cajas en un palet utilizando correas de amarre.
- Organizar y almacenar mercancías en racks siguiendo criterios de peso, frecuencia de acceso y estabilidad.
- Realizar una operación de picking (selección) de un pedido simulado de forma eficiente y segura.
- Manipular cargas de forma manual aplicando principios de ergonomía para prevenir lesiones.

- Demostrar una comunicación efectiva y clara entre los miembros del equipo durante todas las fases de la operación.
- Realizar un conteo cíclico de inventario simulado.

## **Lista de materiales y equipos**

### **Estructuras de almacenaje:**

- Estructuras de rack metálico con varios niveles de altura
- Estantería de menor altura para cajas sueltas.

### **Materiales de carga:**

- Palets de madera o plástico.
- Cajas de cartón resistentes de diversos tamaños y pesos simulados (vacías, rellenas de forma heterogénea con material ligero para simular diferentes pesos).

### **Equipos de sujeción y herramientas:**

- Correas de amarre (cinchas).
- Escalera de tijera industrial baja (para acceso seguro a niveles superiores).
- Tableros de clip, hojas de picking e inventario (simuladas).

### **Equipos de seguridad:**

- Conos o cinta de delimitación.

## **Listado de equipo de protección personal (epp) obligatorio**

1. Zapatos de seguridad de punta reforzada (para todos los integrantes).
2. Guantes de trabajo resistentes (para manipular cajas, palets y correas).
3. Casco de seguridad (obligatorio para quien suba a la escalera o trabaje en zonas donde haya riesgo de golpes en la cabeza).

## **Actividades por integrante (roles y responsabilidades)**

### **1. Supervisor de almacén**

- Lidera el briefing inicial y verifica el EPP de todo el equipo.
- Coordina las etapas de la práctica (recepción, almacenaje, picking).
- Es el responsable de la hoja de pedidos y del registro del inventario.
- Vela por el cumplimiento de todos los protocolos de seguridad.

## **2. Receptor de mercancía**

- Reciben las cajas sueltas simuladas en la "zona de recepción".
- Inspeccionan las cajas y las preparan para su almacenamiento (verifican etiquetas simuladas).
- Aplican técnicas de levantamiento manual seguro (piernas flexionadas, espalda recta).

## **3. Almacenista / paletizador**

- Reciben las cajas de los receptores.
- Construyen palets estables y seguros, organizando las cajas por tamaño y peso (las más pesadas abajo).
- Aseguran la carga al palet utilizando las correas de amarre.
- Deciden, con el supervisor, la ubicación óptima en el rack (criterio: peso abajo, ligero arriba; rápido acceso a media altura).

## **4. Operario de picking**

- Recibe la lista de pedidos del supervisor.
- Prepara un carrito de picking o zona de preparación.
- Recupera las cajas específicas de los racks y del palet, ya sea a nivel de suelo o usando la escalera de forma segura (siempre con casco y un compañero estabilizando la base).
- Aplica técnicas ergonómicas para manejar cajas.

## **5. Auxiliar de inventario**

- Realiza un conteo cíclico de los ítems en los racks, comparando la existencia física con la hoja de inventario simulada.
- Reporta discrepancias al supervisor.
- Ayuda en las tareas de reposición y organización general.

## **Procedimiento de la práctica**

- 1. Briefing inicial:** El supervisor repasa objetivos, roles y normas de seguridad. Colocación del EPP.

## 2. Fase de recepción y almacenaje (Store-in):

- Los receptores reciben un flujo de cajas sueltas.
- Los almacenistas paletizan las cajas y las aseguran con correas.
- El equipo decide en conjunto la mejor ubicación en el rack y coloca los palets de forma manual (entre varios) o con ayuda de la escalera para niveles superiores.
- El supervisor actualiza el registro de inventario con las nuevas ubicaciones.

## 3. Fase de picking (preparación de pedidos):

- El supervisor entrega una lista de pedidos al operario de picking.
- El operario, con ayuda del auxiliar si es necesario, recupera las cajas solicitadas de sus ubicaciones, usando la escalera de forma segura cuando corresponda.
- Las cajas seleccionadas se colocan en la "zona de despacho".

**4. Fase de conteo cíclico:** El auxiliar de inventario, supervisado por el supervisor, cuenta un sector predefinido del rack y compara los resultados con la hoja de inventario.

**5. Debriefing final (15 min):** El equipo se reúne para evaluar la organización del rack, la eficiencia del picking, la comunicación y los aspectos de seguridad aplicados.

## Rubrica de evaluación

| Criterio de Evaluación | Excelente (4)                                                                                             | Competente (3)                                                                            | En Desarrollo (2)                                                                   | No Satisfactorio (1)                                         |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Seguridad y EPP        | EPP completo y correcto en todo momento. Técnicas de levantamiento impecables. Uso seguro de la escalera. | EPP correcto. Técnicas de levantamiento mayormente seguras. Uso funcional de la escalera. | EPP incompleto. Técnicas de levantamiento deficientes. Uso inseguro de la escalera. | Sin EPP. Prácticas peligrosas. Levantamiento con la espalda. |

| Criterio de Evaluación               | Excelente (4)                                                                                        | Competente (3)                                                                           | En Desarrollo (2)                                                               | No Satisfactorio (1)                         |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Comunicación y trabajo en equipo     | Roles claros. Comunicación constante y efectiva durante todo el proceso. Coordinación perfecta.      | Roles definidos. Comunicación buena, pero con algunos silencios. Coordinación aceptable. | Roles confusos. Comunicación escasa. Falta de coordinación en las tareas.       | Desorganización total. No hay comunicación.  |
| Aseguramiento y estabilidad de carga | Palets perfectamente contruidos y estables. Amarres correctos y tensados que garantizan inmovilidad. | Palets estables. Amarres presentes, pero podrían mejorar en tensión o colocación.        | Palets inestables. Amarres flojos, incorrectos o ausentes. Riesgo de caída.     | No se paletiza ni asegura la carga.          |
| Organización del rack y gestión      | Distribución lógica (peso, rotación). Espacio optimizado. Inventario preciso y fácil de localizar.   | Distribución aceptable. Buen uso del espacio. Pequeños errores en inventario.            | Distribución ilógica. Desaprovechamiento de espacio. Inventario desactualizado. | Desorden total. No se sigue ningún criterio. |
| Eficiencia en el Proceso             | Flujo de trabajo lógico y fluido. Pedido preparado sin errores y a tiempo. Conteo preciso.           | Flujo de trabajo aceptable. Pedido con error menor. Conteo con pequeña discrepancia.     | Flujo de trabajo con cuellos de botella. Pedido con errores. Conteo incorrecto. | No se completa el proceso.                   |

Calificación final: \_\_\_\_/20



# Práctica de Laboratorio **4**

---

## **Almacenamiento y retrieval seguro con patín hidráulico**

## Introducción

La operación segura y eficiente del patín hidráulico es una de las competencias más críticas en la gestión de almacenes. Esta práctica se centra en simular un ciclo completo de operaciones logísticas dentro de un espacio limitado: la carga y descarga de palets en estanterías o racks de almacenamiento. Los estudiantes aplicarán técnicas de sujeción de carga, manejo seguro del patín hidráulico, principios de estabilidad de cargas apiladas y comunicación efectiva en un entorno que replica las condiciones reales de un centro de distribución, poniendo especial énfasis en la seguridad en pasillos angostos y en las maniobras de precisión para el almacenamiento.

### Objetivo general

Desarrollar las habilidades prácticas para el manejo seguro y preciso de un patín hidráulico en la operación de almacenaje y extracción (*storage & retrieval*) de cargas paletizadas en estanterías, aplicando procedimientos de seguridad, comunicación en equipo y correcta sujeción de la carga.

### Objetivo específico

- Identificar y utilizar correctamente el Equipo de Protección Personal (EPP).
- Realizar una inspección preoperacional del patín hidráulico.
- Aplicar técnicas correctas para el aseguramiento de cajas en un palet utilizando correas de amarre.
- Maniobrar el patín hidráulico con seguridad y control en un espacio confinado.
- Ejecutar con precisión las operaciones de carga (depositar un palet en un rack) y descarga (retirar un palet de un rack).
- Demostrar una comunicación efectiva y clara entre los miembros del equipo durante las operaciones críticas.

- Organizar las cargas en el suelo aplicando principios de estabilidad y aprovechamiento del espacio.

## **Lista de materiales y equipos**

### **Equipos principales:**

- Patín hidráulico manual.
- Estructura de rack de almacenamiento (o una simulación con estantes robustos)

### **Materiales de carga:**

- Palets de madera o plástico en buen estado.
- Cajas de cartón resistente (vacías, simulan peso, se pueden rellenar con material ligero).

### **Equipos de sujeción:**

- Correas de amarre (cinchas) para asegurar las cajas al palet.

### **Equipos de seguridad:**

- Conos o cinta de delimitación para marcar pasillos y zonas de trabajo.

## **Listado de equipo de protección personal (epp) obligatorio**

1. Calzado de seguridad de punta reforzada (para todos los integrantes).
2. Guantes de trabajo resistentes (para manipular palets y correas).
3. Chaleco reflectante (altamente recomendado para mayor visibilidad en el pasillo).

## **Actividades por integrante (roles y responsabilidades)**

### **1. Coordinador / supervisor de seguridad**

- Verifica el EPP de todo el equipo.
- Supervisa las inspecciones y autoriza el inicio de las operaciones.
- Es el responsable final de detener la práctica si identifica una situación de riesgo.
- Gestiona el tiempo y la secuencia de las actividades.

## **2. Operador de patín hidráulico**

- Realiza la inspección preoperacional del patín (horquillas, ruedas, sistema hidráulico, frenos).
- Opera el patín en todo momento, responsable de sus maniobras.
- Sigue las instrucciones del vigilante de pasillo durante las operaciones de almacenaje.
- Mantiene una velocidad segura y controlada.

## **3. Preparador de carga**

- Inspeccionan las correas de amarre.
- Aseguran correctamente las cajas a los palets utilizando las técnicas de amarre enseñadas.
- Preparan los palets en la "zona de picking" para ser transportados.

## **4. Vigilante de pasillo / señalista**

- Se posiciona en el extremo opuesto del pasillo con visibilidad completa.
- Guía al operador del patín durante la inserción y extracción de los palets en el rack usando señales de mano estandarizadas.
- Se asegura de que el pasillo esté despejado antes de que el patín se mueva.

## **5. Auxiliar de almacén**

- Gestionan la "zona de almacenamiento en suelo", apilando palets de forma estable y segura (máximo 2 alturas).
- Asisten al preparador de carga.
- Realizan el conteo y la verificación de los palets almacenados y recuperados.

## **Procedimiento de la práctica:**

- 1. Briefing inicial:** Revisión de objetivos, roles, señales de mano y protocolos de seguridad. Colocación del EPP.
- 2. Inspección y preparación:** El operador inspecciona el patín. Los preparadores inspeccionan las correas y aseguran dos palets con cajas.

### 3. Fase de almacenamiento (Store-in) (30 min):

- El operador recoge un palet preparado de la zona de picking.
- El vigilante de pasillo guía al operador para insertar el palet en una ubicación designada del rack.
- El operador deposita el palet con precisión, libera la carga y retira el patín del rack.
- Se repite el proceso con un segundo palet.

### 4. Fase de extracción (Retrieval):

- El operador, guiado por el vigilante, se acerca al rack, introduce las horquillas en el primer palet almacenado y lo eleva ligeramente para retirarlo.
- Transporta el palet a la "zona de despacho" donde los auxiliares lo reciben y lo colocan en el suelo de forma estable.
- Se repite el proceso para recuperar el segundo palet.

**5. Almacenamiento en suelo:** Los auxiliares, supervisados por el coordinador, practican el apilamiento seguro de los palets recuperados en la zona designada, aplicando criterios de estabilidad.

**6. Debriefing final:** El equipo se reúne con el instructor para evaluar el desempeño, discutir los desafíos (espacio reducido y comunicación) y reforzar los aprendizajes.

## Rubrica de evaluación

| Criterio de Evaluación           | Excelente (4)                                                                                            | Competente (3)                                                               | En Desarrollo (2)                                                              | No Satisfactorio (1)                                                      |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Preparación y seguridad          | EPP completo y correcto.<br>Inspección minuciosa del patín y correas.<br>Zonas delimitadas.              | EPP mayormente correcto.<br>Inspección realizada.<br>Zonas algo definidas.   | Faltan elementos de EPP.<br>Inspección superficial.<br>Zonas no delimitadas.   | Sin EPP.<br>Sin inspección.<br>Comportamientos inseguros.                 |
| Comunicación y trabajo en equipo | Señales claras y precisas.<br>Roles definidos y respetados.<br>Coordinación perfecta en pasillo angosto. | Comunicación funcional.<br>Roles entendidos.<br>Algún error de coordinación. | Comunicación escasa o confusa.<br>Roles no claros.<br>Falta de sincronización. | No hay comunicación.<br>Desorganización total.<br>Operaciones peligrosas. |

| <b>Criterio de Evaluación</b>     | <b>Excelente (4)</b>                                                                                                | <b>Competente (3)</b>                                                        | <b>En Desarrollo (2)</b>                                                        | <b>No Satisfactorio (1)</b>                                      |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Técnica de aseguramiento de carga | Amarres correctos, tensados y que garantizan total inmovilidad de la caja.<br>Prevención de daños.                  | Amarres funcionales, pero con pequeños errores.<br>Carga mayormente estable. | Amarres flojos, incorrectos o insuficientes.<br>Carga puede moverse o volcarse. | No se asegura la carga.<br>Práctica peligrosa.                   |
| Operación del patín y precisión   | Manejo suave y controlado.<br>Inserciones/extracciones rectas y centradas.<br>Precisión milimétrica.<br>Sin golpes. | Manejo seguro.<br>Buena precisión<br>Algún pequeño ajuste necesario.         | Movimientos bruscos.<br>Dificultad para alinearse.<br>Golpea levemente el rack. | Falta de control<br>Golpes fuertes.<br>Operación temeraria.      |
| Organización y cumplimiento       | Siguen el procedimiento al pie de la letra.<br>Palets apilados de forma extremadamente estable y ordenada.          | Siguen los pasos principales.<br>Palets apilados de forma segura.            | Se saltan pasos.<br>Apilamiento inestable o desordenado.                        | No cumplen con el procedimiento.<br>Desorden que genera riesgos. |

Calificación final: \_\_\_\_/20

# Práctica de Laboratorio **5**

---

## **Manipulación integral de materiales con grúa puente y patín hidráulico**

## Introducción

En la industria logística, manufacturera y de almacenamiento, el manejo eficiente y seguro de materiales es fundamental para la productividad y la prevención de accidentes. Esta práctica introduce a los estudiantes en la operación coordinada de dos de los equipos más comunes en estos entornos: la grúa de puente (o polipasto) para el izaje vertical y horizontal de cargas, y el patín hidráulico (o transpaleta) para el transporte horizontal sobre el suelo.

El objetivo es simular un proceso logístico real donde una carga debe ser movilizada desde un punto de origen a un punto de destino, pasando por las etapas de preparación, izaje, transporte y almacenamiento. Se hará especial hincapié en los procedimientos de seguridad, la comunicación del equipo y el correcto uso de los Elementos de Protección Personal (EPP) y equipos de sujeción como eslingas y correas.

### Objetivo general

Capacitar a los estudiantes en los principios de seguridad, planificación y operación coordinada de equipos de manejo de materiales (grúa de puente y patín hidráulico) para realizar la movilización segura y eficiente de una carga paletizada simulada dentro de un espacio delimitado.

### Objetivo específico

- Identificar y utilizar correctamente el Equipo de Protección Personal (EPP) requerido para las operaciones.
- Realizar una inspección preoperacional básica de la grúa de puente y el patín hidráulico.
- Aplicar técnicas correctas para el aseguramiento de cargas en palets utilizando eslingas y correas.
- Operar la grúa de puente de forma controlada para izar, desplazar y posicionar una carga con precisión.



- Maniobrar el patín hidráulico para transportar y almacenar palets de forma estable y segura.
- Demostrar una comunicación efectiva y clara (verbal y/o con señas de mano) entre todos los miembros del equipo durante las operaciones.
- Establecer y respetar una zona de seguridad perimetral durante el izaje de la carga.

## **Lista de materiales y equipos**

### **Equipos Principales:**

- Grúa de puente o polipasto con capacidad suficiente.
- Patín hidráulico manual o eléctrico.

### **Materiales de Carga:**

- Palets de madera o plástico en buen estado.
- Cajas de cartón resistente (vacías pero que simulen peso, se pueden rellenar con material ligero como espuma o plástico de burbujas para dar volumen y rigidez).

### **Equipos de Izaje y Sujeción:**

- Eslingas de correa (o cadena) con capacidad adecuada a la grúa.
- Correas de amarre (cinchas) para asegurar la caja al palet.

### **Equipos de Seguridad:**

- Conos o cinta de delimitación para marcar zonas de trabajo y seguridad.

## **Listado de Equipo de Protección Personal (EPP) obligatorio**

1. Casco de seguridad (para todos los integrantes).
2. Lentes de seguridad (para todos los integrantes).
3. Calzado de seguridad de punta reforzada (para todos los integrantes, especialmente el operador de patín y los que estén en la zona de carga).
4. Guantes de trabajo resistentes (para manipular palets, eslingas y correas).
5. Chaleco reflectante (opcional pero recomendado para una mejor visibilidad, especialmente para el señalista).

## **Actividades por integrante (roles y responsabilidades)**

### **1. Coordinador/Supervisor de seguridad:**

- Responsable general de la práctica.
- Verifica que todo el equipo tenga el EPP correctamente puesto.
- Realiza la revisión final de la inspección de los equipos.
- Autoriza el inicio de cada fase de la operación (izaje y transporte).
- Vela por el cumplimiento de los protocolos de seguridad en todo momento.

### **2. Operador de grúa puente:**

- Realiza la inspección visual preoperacional de la grúa (cadenas, gancho, frenos, controles, carriles).
- Opera los controles de la grúa de forma suave y controlada.
- Sigue exclusivamente las instrucciones del señalista de grúa.
- Se asegura de que la carga esté equilibrada antes de elevarla completamente.

### **3. Señalista de grúa:**

- Es el único autorizado para dar instrucciones al operador de la grúa mediante señas de mano estandarizadas (previamente definidas y repasadas con el equipo).
- Se posiciona en un lugar donde tenga una visión clara de la carga, el operador y la trayectoria.
- Se asegura de que la zona de izaje esté despejada antes de dar la señal de elevar.

### **4. Eslingador / Preparador de carga:**

- Inspeccionan las eslingas y correas en busca de daños.
- Colocan y aseguran las eslingas al palet y a la carga de forma correcta y equilibrada para evitar deslizamientos.
- Aseguran la caja al palet utilizando las cinchas.
- Se encargan de conectar y desconectar el gancho de la grúa de las eslingas.
- Guían manualmente la carga (sin forcejear) durante el posicionamiento final, solo si es seguro y necesario.

### **5. Operador de patín hidráulico:**

- Realiza la inspección preoperacional del patín (horquillas, ruedas, sistema hidráulico y frenos).
- Maneja el patín para colocar las horquillas debajo del palet que está en el suelo.
- Transporta el palet con la carga al punto designado (estantería simulada o zona de almacenamiento).
- Maneja el patín con precaución, manteniendo una velocidad baja y constante, especialmente al girar o esquivar obstáculos.

### **6. Vigía de Zona/Auxiliar General:**

- Coloca conos o cinta para delimitar la zona de seguridad alrededor del área de izaje.
- Se mantiene en la periferia de la operación para asegurarse de que nadie ingrese a la zona de peligro durante el izaje.
- Asiste a los eslingadores cuando sea necesario.
- Está atento a cualquier peligro imprevisto.

## **Procedimiento de la práctica**

- 1. Briefing inicial:** El coordinador repasa los objetivos, roles, señales de mano y protocolos de seguridad con todo el equipo. Todos se equipan con el EPP.
- 2. Inspección de equipos:** Cada operador y los eslingadores inspeccionan su equipo asignado (grúa, patín y eslingas) y reportan su estado al coordinador.
- 3. Preparación de la carga:** Los eslingadores colocan la caja vacía sobre el palet y la aseguran con las correas de amarre.
- 4. Operación de Izaje:**
  - Los eslingadores colocan las eslingas en el palet preparado.
  - El operador de grúa, bajo las señales del señalista, posiciona el gancho sobre la carga.
  - Los eslingadores conectan las eslingas al gancho.

- El señalista da la orden de tensar para tomar la carga. Los eslingadores verifican el equilibrio.
- Una vez verificado, se iza la carga unos centímetros y se hace una pausa para una verificación final.
- El señalista guía al operador de grúa para mover la carga y depositarla suavemente sobre otro palet en el suelo o sobre las horquillas del patín (que debe estar correctamente posicionado y con las horquillas bajas).

#### **5. Operación de transporte:**

- Una vez la carga está depositada sobre el patín, los eslingadores desconectan las eslingas.
- El operador del patín eleva la carga unos centímetros y la transporta por una ruta predefinida hacia una "zona de almacenamiento" simulada (un área marcada con conos al otro extremo del espacio).
- Deposita la carga en el suelo de forma controlada.

#### **6. Ciclo inverso y almacenamiento:** El equipo repite el proceso para devolver la carga a su ubicación original o mover otra carga.

#### **7. Debriefing final (15 min):** El equipo se reúne para discutir lo aprendido, los desafíos enfrentados, los errores cometidos y las mejores prácticas identificadas. Se enfatizan los aspectos de seguridad y comunicación.

### **Consideraciones de seguridad adicionales**

- NUNCA se debe colocar ninguna parte del cuerpo debajo de una carga suspendida.
- Las manos y dedos deben mantenerse lejos de los puntos de pellizco (entre la carga y el gancho, entre el patín y el piso).
- La comunicación debe ser siempre clara. Si una señal no es entendida, la operación se debe detener de inmediato.
- En caso de cualquier irregularidad o emergencia, cualquier miembro del equipo debe gritar "¡ALTO!" para detener inmediatamente todas las operaciones.

## Rubrica de evaluación

| Criterio de Evaluación              | Excelente (4)                                                                                                                                                                     | Competente (3)                                                                                                                                        | En Desarrollo (2)                                                                                                                                          | No Satisfactorio (1)                                                                                                         |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Preparación y Seguridad             | Todo el equipo porta el EPP completo y correctamente. La inspección de equipos es minuciosa y documentada. La zona de seguridad está perfectamente delimitada y respetada.        | La mayoría porta el EPP correcto. La inspección se realiza, pero de forma apresurada. La zona de seguridad está demarcada pero no siempre se respeta. | Faltan elementos de EPP en varios integrantes. La inspección es superficial. La zona de seguridad no está clara o no se respeta.                           | El EPP no se utiliza. No se realiza inspección de equipos. No se establece una zona de seguridad. Comportamientos inseguros. |
| Comunicación y trabajo en equipo    | Los roles son claros y respetados. La comunicación (señales, verbal) es constante, clara y efectiva. El equipo trabaja de forma sincronizada y colaborativa.                      | Los roles se entendieron. La comunicación existe, pero a veces es confusa o poco clara. El trabajo en equipo es funcional.                            | Los roles no están bien definidos. La comunicación es escasa o genera confusión. Los miembros trabajan de forma individual.                                | No hay asignación de roles o no se respetan. No hay comunicación o es hostil. Desorganización total.                         |
| Técnica de Izaje y aseguramiento    | Las eslingas se colocan de forma simétrica y en los puntos correctos. La carga está perfectamente equilibrada y asegurada al palet. La conexión/desconexión del gancho es segura. | Las eslingas se colocan correctamente, pero con pequeñas imperfecciones. La carga está mayormente estable. El procedimiento es seguro.                | Las eslingas están mal colocadas (ángulos incorrectos, riesgo de deslizamiento). La carga no está bien asegurada al palet. Técnica insegura con el gancho. | No se sabe colocar las eslingas. La carga está desbalanceada y suelta. Prácticas extremadamente peligrosas.                  |
| Operación de equipos (grúa y patín) | Movimientos suaves, controlados y precisos. El operador anticipa las trayectorias.                                                                                                | Operación mayormente controlada. Algún movimiento brusco o imprecisión menor.                                                                         | Operación nerviosa o brusca. Dificultad para controlar la carga/patín.                                                                                     | Falta de control total sobre los equipos. Movimientos erráticos que ponen en riesgo a personas y equipos.                    |

| Criterio de Evaluación                      | Excelente (4)                                                                                                                                       | Competente (3)                                                                                                               | En Desarrollo (2)                                                                                                           | No Satisfactorio (1)                                                                                             |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                             | El patín se maneja con fluidez y siempre en control.<br>Velocidad siempre segura.                                                                   | Velocidad generalmente adecuada.                                                                                             | Exceso de velocidad o maniobras peligrosas.                                                                                 |                                                                                                                  |
| Eficiencia y Cumplimiento del Procedimiento | Siguen todos los pasos del protocolo de forma metódica y en el orden correcto.<br>Completan la ruta de transporte sin errores y de forma eficiente. | Siguen los pasos principales, pero omiten algunos detalles.<br>Cometen un error menor, pero se recuperan. Completan la ruta. | Se saltan pasos importantes del protocolo (ej. verificación post-izaje).<br>Cometen varios errores en la ruta o el proceso. | No siguen ningún procedimiento. El proceso es caótico y no se logra el objetivo de mover la carga correctamente. |

Calificación final: \_\_\_\_/20

# VI

---

## **Anexos**

## Anexos

### Ilustración 1 - Sistema de señales para operaciones con grúas hidráulicas de la Norma ANSI B.30.6-1969

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>GIRAR</b><br/>Brazo extendido, señalar con el dedo la dirección de giro de la pluma.</p>                                                                                                                                                                            |  <p><b>MOVER</b><br/>Brazo extendido hacia delante, mano abierta y ligeramente levantada haciendo movimiento de empujar hacia la dirección donde se debe mover.</p>                                                                            |
|  <p><b>MOVER (una oruga)</b><br/>Trabrar la oruga del costado indicado por el puño alzado. Mover la oruga opuesta en la dirección indicada por el movimiento circular del otro puño que gira verticalmente en la parte delantera del cuerpo (sólo grúas sobre orugas).</p> |  <p><b>MOVER (ambas orugas)</b><br/>Utilizar ambos puños ubicados en la parte delantera del cuerpo haciendo un movimiento circular sobre cada una de las otras direcciones de movimiento, adelante o atrás (sólo para grúas sobre orugas).</p> |
|  <p><b>IZAR</b><br/>Con el antebrazo vertical y el índice apuntando hacia arriba, mover la mano en pequeños círculos horizontales.</p>                                                                                                                                     |  <p><b>BAJAR</b><br/>Con el brazo extendido hacia abajo, el dedo índice apuntando hacia abajo, mover la mano en pequeños círculos horizontales.</p>                                                                                            |
|  <p><b>LEVANTAR LA PLUMA Y BAJAR LA CARGA</b><br/>Con el brazo extendido, el pulgar apuntando hacia arriba, flexionar los dedos hacia adentro y hacia afuera tanto como se desee mover la carga.</p>                                                                       |  <p><b>BAJAR LA PLUMA Y LEVANTAR LA CARGA</b><br/>Con el brazo extendido, el pulgar apuntando hacia abajo, flexionar los dedos hacia adentro y hacia afuera tanto como se desee mover la carga.</p>                                            |
|  <p><b>PARADA DE EMERGENCIA</b><br/>Brazos extendidos, palmas hacia abajo, mover los brazos hacia delante y hacia atrás horizontalmente.</p>                                                                                                                              |  <p><b>PARAR</b><br/>Brazo extendido, palma hacia abajo, mover el brazo horizontalmente hacia adelante y hacia atrás.</p>                                                                                                                     |
|  <p><b>ASEGURAR TODO</b><br/>Cerrar ambas manos sobre la parte delantera del cuerpo.</p>                                                                                                                                                                                 |  <p><b>MOVER LENTAMENTE</b><br/>Usar una mano para indicar el movimiento y ubicar la otra, sin movimiento, enfrente de la que da la señal de movimiento.</p>                                                                                 |
|  <p><b>LEVANTAR LA PLUMA</b><br/>Brazo extendido, dedos cerrados sobre la palma, pulgar apuntando hacia arriba.</p>                                                                                                                                                      |  <p><b>BAJAR LA PLUMA</b><br/>Brazo extendido, dedos cerrados sobre la palma de la mano, pulgar apuntando hacia abajo.</p>                                                                                                                   |
|  <p><b>USAR GANCHO PRINCIPAL</b><br/>Golpear ligeramente la cabeza con el puño, luego usar las señas normales.</p>                                                                                                                                                       |  <p><b>USAR LINEA AUXILIAR (gancho de bola)</b><br/>Golpear el codo con un mano, luego usar las señas normales.</p>                                                                                                                          |
|  <p><b>EXTENDER LA PLUMA (plumas telescópicas)</b><br/>Ambos puños en frente del cuerpo, con los pulgares apuntando hacia afuera.</p>                                                                                                                                    |  <p><b>RETRAER LA PLUMA (plumas telescópicas)</b><br/>Ambos puños en frente del cuerpo, con los pulgares apuntando hacia adentro.</p>                                                                                                        |



**Tabla 1 - Lista de Equipos de Protección Personal (EPP) de acuerdo a la NOM 017 STPS 2008**

| CLAVE Y REGION ANATOMICA   | CLAVE Y EPP                                                                                                                              | TIPO DE RIESGO EN FUNCION DE LA ACTIVIDAD DEL TRABAJADOR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) Cabeza                  | A) Casco contra impacto<br>B) Casco dieléctrico<br>C) Capuchas                                                                           | A) Golpeado por algo, que sea un posibilidad de riesgo continuo inherente a su actividad.<br>B) Riesgo a una descarga eléctrica (considerar alto o bajo voltaje, los cascos son diferentes).<br>C) Exposición a temperaturas bajas o exposición a partículas. Protección con una capucha que puede ir abajo del casco de protección personal.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 2) Ojos y cara             | A) Anteojos de protección<br>B) Goggles<br>C) Pantalla facial<br>D) Careta para soldador<br>E) Gafas para soldador                       | A) Riesgo de proyección de partículas o líquidos. En caso de estar expuesto a radiaciones, se utilizan anteojos de protección contra la radiación.<br>B) Riesgo de exposición a vapores o humos que pudieran irritar los ojos o partículas mayores o a alta velocidad.<br>C) Se utiliza también cuando se expone a la proyección de partículas en procesos tales como esmerilado o procesos similares; para proteger ojos y cara.<br>D) Específico para procesos de soldadura eléctrica.<br>E) Específico para procesos con soldadura autógena.                                                                                                                                                                                                                                    |
| 3) Oídos                   | A) Tapones auditivos<br>B) Conchas acústicas                                                                                             | A) Protección contra riesgo de ruido; de acuerdo al máximo especificado en el producto o por el fabricante.<br>B) Mismo caso del inciso A.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 4) Aparato respiratorio    | A) Respirador contra partículas<br>B) Respirador contra gases y vapores<br>C) Mascarilla desechable<br>D) Equipo de respiración autónomo | En este tipo de productos es importante verificar las recomendaciones o especificaciones de protección del equipo, hecha por el fabricante del producto.<br>A) Protección contra polvos o partículas en el medio ambiente laboral y que representan un riesgo a la salud del trabajador.<br>B) Protección contra gases y vapores. Considerar que hay diferentes tipos de gases y vapores para los cuales aplican también diferentes tipos de respiradores, incluyendo para gases o vapores tóxicos.<br>C) Mascarilla sencilla de protección contra polvos.<br>D) Se utiliza cuando el trabajador entra a espacios confinados o cuando un respirador no proporciona la protección requerida.                                                                                        |
| 5) Extremidades superiores | A) Guantes contra sustancias químicas<br>B) Guantes dieléctricos<br>C) Guantes contra temperaturas extremas<br>D) Guantes<br>E) Mangas   | En este tipo de productos es importante verificar las recomendaciones o especificaciones de los diferentes guantes existentes en el mercado, hecha por el fabricante del producto. Su uso depende de los materiales o actividad a desarrollar.<br>A) Riesgo por exposición o contacto con sustancias químicas corrosivas.<br>B) Protección contra descargas eléctricas. Considerar que son diferentes guantes dependiendo de protección contra alta o baja tensión.<br>C) Riesgo por exposición a temperaturas bajas o altas.<br>D) Hay una gran variedad de guantes: tela, camaza, piel, pvc, látex, entre otros. Dependiendo del tipo de protección que se requiere, actividades expuestas a corte, vidrio, etc.<br>E) Se utilizan cuando es necesario extender la protección de |

|                            |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |                                                                                                                                                                                          | los guantes hasta los brazos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 6) Tronco                  | A) Mandil contra altas temperaturas<br>B) Mandil contra sustancias químicas<br>C) Overol<br>D) Bata<br>E) Ropa contra sustancias peligrosas                                              | A) Riesgo por exposición a altas temperaturas; cuando se puede tener contacto del cuerpo con algo que esté a alta temperatura.<br>B) Riesgo por exposición a sustancias químicas corrosivas; cuando se puede tener contacto del cuerpo con este tipo de sustancias.<br>C) Extensión de la protección en todo el cuerpo por posible exposición a sustancias o temperaturas. Considerar la facilidad de quitarse la ropa lo más pronto posible, cuando se trata de sustancias corrosivas.<br>D) Protección generalmente usada en laboratorios u hospitales.<br>E) Es un equipo de protección personal que protege cuerpo, cabeza, brazos, piernas pies, cubre y protege completamente el cuerpo humano ante la exposición a sustancias altamente tóxicas o corrosivas.          |
| 7) Extremidades inferiores | A) Calzado ocupacional<br>B) Calzado contra impactos<br>C) Calzado conductivo<br>D) Calzado dieléctrico<br>E) Calzado contra sustancias químicas<br>F) Polainas<br>G) Botas impermeables | A) Proteger a la persona contra golpes, machacamientos, resbalones, etc.<br>B) Protección mayor que la del inciso anterior contra golpes, que pueden representar un riesgo permanente en función de la actividad desarrollada.<br>C) Protección del trabajador cuando es necesario que se elimine la electricidad estática del trabajador; generalmente usadas en áreas de trabajo con manejo de sustancias explosivas.<br>D) Protección contra descargas eléctricas.<br>E) Protección de los pies cuando hay posibilidad de tener contacto con algunas sustancias químicas. Considerar especificación del fabricante.<br>F) Extensión de la protección que pudiera tenerse con los zapatos exclusivamente.<br>G) Generalmente utilizadas cuando se trabaja en áreas húmedas. |
| 8) Otros                   | A) Equipo de protección contra caídas de altura<br>B) Equipo para brigadista contra incendio                                                                                             | A) Específico para proteger a trabajadores que desarrollen sus actividades en alturas y entrada a espacios confinados.<br>B) Específico para proteger a los brigadistas contra altas temperaturas y fuego. Hay equipo adicional en función de las actividades rescate a realizar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

## Referencias

- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) (2010). NOM-002-STPS-2010: Que instituye las condiciones de seguridad - Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo en los Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México: STPS.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) (1999). NOM-004-STPS-1999: Que instituye los sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo en los Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México: STPS.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) (2023). NOM-006-STPS-2023: Que instituye el almacenamiento y manejo de materiales mediante el uso de maquinaria-Condiciones de seguridad en el trabajo en los Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México: STPS.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) (2011). NOM-009-STPS-2011: Que instituye las condiciones de seguridad para realizar trabajos en altura en los Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México: STPS.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) (2008). NOM-017-STPS-2008: Que instituye los equipos de protección personal - Selección, uso y manejo en los centros de trabajo en los Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México: STPS.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) (2008). NOM-025-STPS-2008: Que instituye las condiciones de iluminación en los centros de trabajo en los Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México: STPS.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) (2009). NOM-030-STPS-2009: Que instituye los servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo- Funciones y actividades en los Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México: STPS.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) (2011). NOM-031-STPS-2011: Que instituye la construcción-condiciones de seguridad y salud en el trabajo en los Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México: STPS.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) (2018). NOM-036-STPS-2018: Que instituye los factores de riesgo ergonómico en el Trabajo-Identificación, análisis, prevención y control. Parte 1: Manejo manual de cargas en los Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México: STPS

## I. Fundamentos conceptuales

- Apple, J. M. (2017). *Plant Layout and Material Handling* (Revised ed.). Wiley.
- Bartholdi, J. J., y Hackman, S. T. (2019). *Warehouse y Distribution Science* (Release 0.98). Supply Chain and Logistics Institute, Georgia Tech.
- Bartholdi, J. J., y Hackman, S. T. (2019). *Warehouse y Distribution Science* (Release 0.98). Supply Chain and Logistics Institute, Georgia Tech.
- Council for Industrial and Material Handling Education (CICMHE). *Material Handling Principles*. Material Handling Institute.
- Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). (2023). *Annual State of Logistics Report*. CSCMP Publications.
- Council of Supply Chain Management Professionals. (2024). *Annual State of Logistics Report*. Chicago: CSCMP.
- DHL Customer Solutions y Innovation. (2023). *Logistics Trend Radar: Material Handling Automation Edition*. DHL Group.
- DHL Customer Solutions y Innovation. (2024). *Logistics Trend Radar: Smart Packaging and Unitization*. Bonn: DHL Group.
- European Pallet Association (EPAL). (2025). *EPAL Technical Data Sheet - EUR 1 Pallet*. Brussels: EPAL.
- Frazelle, E. H. (2016). *World-Class Warehousing and Material Handling* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Frazelle, E. H. (2016). *World-Class Warehousing and Material Handling* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Frazelle, E. H. (2021). *World-Class Warehousing and Material Handling* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Goldsby, T. J., y Martichenko, R. (2020). *Lean Six Sigma Logistics: A Practitioner's Guide to Performance Improvement*. J. Ross Publishing.
- International Organization for Standardization (2003). *ISO 6780:2003 - Flat pallets for intercontinental materials handling — Principal dimensions and tolerances*. Geneva: ISO.
- International Plant Protection Convention. (2024). *ISPM 15: Regulation of wood packaging material in international trade*. Rome: FAO.
- Kulwiec, R. A. (2018). *Materials Handling Handbook* (3rd ed.). Material Handling Institute.

- Material Handling Institute (MHI). (2020). *Material Handling Systems y Design*. MHI Foundation.
- Material Handling Institute (MHI). (2022). *Annual Industry Report: Material Handling y Logistics*. MHI Foundation.
- Material Handling Institute (MHI). (2024). *Unit Load Design: Principles and Practices*. Charlotte, NC: MHI Foundation.
- Mecalux International. (2025). *Euro pallet vs. US pallet: A Comparative Analysis*. Barcelona: Mecalux Group.
- International Organization for Standardization (ISO). (2025). *ISO 668:2025 - Series 1 freight containers – Classification, dimensions and ratings*. Geneva: ISO.
- Rushton, A., Croucher, P., y Baker, P. (2022). *The Handbook of Logistics and Distribution Management* (7th ed.). Kogan Page.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., y Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities Planning* (4th ed.). John Wiley y Sons.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., y Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities Planning* (4th ed.). John Wiley y Sons.
- Twede, D., y Clarke, R. (2023). *Logistical Packaging in Supply Chains* (4th ed.). Boca Raton: CRC Press.

## II. Tecnologías y equipos

- Bertolini Sistemas de Armazenagem. (2020). *¿Para qué sirve la logística de radiofrecuencia?* Bertolini.
- Checkpoint Systems Latam. (2024). *Implementación de RFID – Checkpoint Systems México*. Checkpoint Systems.
- Ciberconta. (2013). *Transmisión por radiofrecuencia*. Universidad de Zaragoza.
- Control Design. (2024). *How RFID can be used in real-time inventory management, seamless asset tracking, quality control and streamlined production processes*. Control Design.
- Daifuku. (2023). *AS/RS Systems: Technology and Applications*. Daifuku Corporation.
- DHL Customer Solutions y Innovation. (2024). *Robotics in Logistics: A DHL Perspective on Automation*. DHL Group.

- Frazelle, E. H. (2022). *World-Class Warehousing and Material Handling* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- Geprom. (2022). Identificación y trazabilidad de piezas con RFID y NFC. Geprom.
- Greatest IoT. (2024). Etiquetas RFID en la industria de la construcción: gestión de materiales y equipos. [greatestiot.com](https://greatestiot.com).
- Groover, M. P. (2021). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (5th ed.). Pearson Education.
- Interlake Mecalux. (2024). *Material Handling Equipment for Warehouses: Selection and Applications*. Mecalux Group.
- International Federation of Robotics (IFR). (2024). *World Robotics Report 2024*. IFR Statistical Department.
- ISO 3691-1:2020. *Industrial trucks — Safety requirements and verification — Part 1: Self-propelled industrial trucks, other than driverless trucks, variable-reach trucks and burden-carrier trucks*. International Organization for Standardization.
- Kloeckner Metals. (2021). *Cómo implantar un programa RFID en la fabricación*. Kloeckner Metals Corporation.
- Kulwiec, R. A. (Ed.). (2009). *Materials Handling Handbook* (2nd ed., Vol. 1). Wiley India.
- Material Handling Institute (MHI). (2024). *Material Handling Equipment Selection Guide*. MHI Foundation.
- Mulcahy, D. E. (2019). *Warehouse Distribution and Operations Handbook*. McGraw-Hill.
- Repositorio UCV. (2025). *Implementación de sistema de identificación por radiofrecuencia (RFID) para mejorar la gestión de procesos de almacén en una empresa constructora*. Universidad César Vallejo.
- RFID Tag World. (2024). *Aplicación de etiquetas RFID en logística y gestión de almacenamiento*. RFIDtagworld XMINNOV.
- RTEC RFID. (2024). *Aplicació de les etiquetes intel·ligents RFID en la logística i la gestió d'emmagatzematge*. RTEC.
- Rushton, A., Croucher, P., y Baker, P. (2022). *The Handbook of Logistics and Distribution Management* (7th ed.). Kogan Page.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., y Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities Planning* (4th ed.). John Wiley y Sons.

### III. Diseño y gestión del sistema

- Bartholdi, J. J., y Hackman, S. T. (2019). Warehouse y Distribution Science (Release 0.98). Supply Chain and Logistics Institute, Georgia Tech.
- Frazelle, E. H. (2022). World-Class Warehousing and Material Handling (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- Groover, M. P. (2021). Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing (5th ed.). Pearson Education.
- Muther, R. (2000). Systematic Layout Planning (4th ed.). Management y Industrial Research Publications.
- Rushton, A., Croucher, P., y Baker, P. (2022). The Handbook of Logistics and Distribution Management (7th ed.). Kogan Page.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., y Tanchoco, J. M. A. (2010). Facilities Planning (4th ed.). John Wiley y Sons.

### IV. Aspectos transversales críticos

- Accenture. (2024). Digital Twins in Supply Chain: From Hype to Reality. Accenture Research.
- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). (2023). Threshold Limit Values for Physical Agents. Cincinnati, OH: ACGIH.
- Bartholdi, J. J., y Hackman, S. T. (2019). Warehouse y Distribution Science (Release 0.98). Supply Chain and Logistics Institute, Georgia Tech.
- Council of Supply Chain Management Professionals. (2024). Annual State of Logistics Report: Sustainability Supplement. CSCMP Publications.
- Daifuku Intralogistics America. (2024). Crate y Barrel: Consolidated Retail and Direct Fulfillment. Daifuku Case Study.
- DHL Customer Solutions y Innovation. (2023). Logistics Trend Radar: Sustainability Edition. DHL Group.
- DHL Customer Solutions y Innovation. (2024). Logistics Trend Radar: Digital Transformation Edition. DHL Group.
- Ellen MacArthur Foundation. (2021). Circular Economy: A New Way to Design, Make, and Use. Ellen MacArthur Foundation.
- European Commission. (2012). Directive 2012/19/EU on waste electrical

- and electronic equipment (WEEE). Official Journal of the European Union.
- Frazelle, E. H. (2022). *World-Class Warehousing and Material Handling* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- Gartner. (2024). *Hype Cycle for Supply Chain Execution Technologies*. Gartner Research.
- Graziosi, F., Bonfiglioli, R., Decataldo, F., y Violante, F. S. (2025). Criteria for Assessing Exposure to Biomechanical Risk Factors: A Research-to-Practice Guide—Part 2: Upper Limbs. *Life*, 15(1), 109.
- Greenhouse Gas Protocol. (2011). *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard*. World Resources Institute y World Business Council for Sustainable Development.
- Health and Safety Executive (HSE). (2018). *Manual handling assessment charts (the MAC tool)*. UK: HSE Books.
- Hexagon. (2025). *How Hexagon is transforming material movement at Tokatindung gold mine*. Australian Mining.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1998). NTP 477: Levantamiento manual de cargas: ecuación del NIOSH. Madrid: INS-HT.
- ISO 11228-1:2003. *Ergonomics — Manual handling — Part 1: Lifting and carrying*. International Organization for Standardization.
- ISO 14001:2015. *Environmental management systems — Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization.
- ISO 6385:2016. *Ergonomic principles in the design of work systems*. International Organization for Standardization.
- ISO/IEC 30141:2024. *Internet of Things (IoT) — Reference architecture*. International Organization for Standardization.
- Kagermann, H., Wahlster, W., y Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. acatech - National Academy of Science and Engineering.
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., y Jørgensen, K. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, 18(3), 233-237.



- Material Handling Institute (MHI). (2024). Annual Industry Report: The Impact of Industry 4.0 on Material Handling. MHI Foundation.
- Material Handling Institute (MHI). (2024). Sustainability in Material Handling: Best Practices and Emerging Technologies. MHI Foundation.
- McKinsey y Company. (2023). The future of warehousing: Digital and autonomous operations. McKinsey Operations Practice.
- Mitsubishi Logisnext Americas. (2025). Rika Redefines Workflow With Jungheinrich AGVs. Logisnext Customer Story.
- Modula. (2025). Perufarma: E-commerce Automation Collaboration. Modula Case Study.
- Rockwell Automation. (2015). Solutions in Action: C3 Corporation. Rockwell Automation Case Study.
- Rogers, D. S., y Tibben-Lembke, R. S. (1999). Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices. Reno: Reverse Logistics Executive Council.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2018). Norma Oficial Mexicana NOM-036-1-STPS-2018, Factores de riesgo ergonómico en el trabajo-Identificación, análisis, prevención y control. Parte 1: Manejo manual de cargas. Diario Oficial de la Federación.
- Snook, S. H., y Ciriello, V. M. (1991). The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, 34(9), 1197-1213.
- Stock, J. R. (1992). Reverse Logistics. Council of Logistics Management.
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A., y Nee, A. Y. C. (2019). Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2405-2415.
- Toyota Material Handling UK. (2025). Toyota Material Handling UK champions 'zero muda' approach to boost efficiency. *Materials Handling World*.
- UK Material Handling Association. (2025). HUBTEX wins 2025 Archie for Operational Efficiency. *Logistics Matters*.
- Unipart. (2025). Automotive manufacturer reduces trim part damage by 57 % across North America network. Unipart Case Study.
- United Nations. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1. New York: United Nations.

Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., y Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7), 749-776.

Yale Lift Truck Technologies. (2025). How Hamilton Beach Cut Product Damage by 80 % with Electric Lift Trucks and Smart Warehouse Design. *Logistics Management*.

*Manejo de materiales: fundamentos y aplicaciones logísticas*

Se terminó de imprimir en Julio de 2026

en los talleres gráficos de Astra Ediciones

Av. Acueducto 829, Colonia Santa Margarita, C. P. 45140,

Zapopan, Jalisco

E-mail: [edicion@astraeditorial.com.mx](mailto:edicion@astraeditorial.com.mx)

[www.astraeditorialshop.com](http://www.astraeditorialshop.com)

Impresión digital con interiores en papel bond 75g.

portada en cartulina sulfatada 12 pts.

El tiraje consta de X ejemplares



El presente libro... ha sido concebido con un propósito claro y ambicioso: contribuir a la formación de profesionales capaces de diseñar, operar y mejorar sistemas de manejo de materiales en organizaciones de manufactura, distribución y servicios, en un contexto de creciente complejidad tecnológica y exigencia competitiva.

"Los verdaderos resultados surgen de pequeñas mejoras implementadas gradualmente" William Edwards Deming (1900-1993)

ISBN: 979-13-88349-18-8



9 791388 134918 8



Consulta y descarga

