

Planeación y desarrollo de centros de distribución:

Enfoque integral

Coordinadores

Francisco Javier Torres Barajas - Alejandro Lozano González
Luz Karina Hernández Garza - Rafael González Bravo - Perla Esperanza Ontiveros Castañeda
Luis Antonio Marquez Frausto - Manuel Gándara Rodríguez
Martha Elena Gutiérrez Delgado - Javier Ramos Manzano - Carolina Ponce Macías
Horacio Jesús Cisneros González - Nailea García Galván



Planeación y desarrollo de centros de distribución: Enfoque integral



Planeación y desarrollo de centros de distribución: Enfoque integral

Francisco Javier Torres Barajas
Alejandro Lozano González
Luz Karina Hernández Garza
Rafael González Bravo
Perla Esperanza Ontiveros Castañeda
Luis Antonio Marquez Frausto
Manuel Gándara Rodríguez
Martha Elena Gutiérrez Delgado
Javier Ramos Manzano
Carolina Ponce Macias
Horacio Jesús Cisneros González
Nailea García Galván



Planeación y desarrollo de centros de distribución: Enfoque integral. Autores: Francisco Javier Torres Barajas, Alejandro Lozano González, Luz Karina Hernández Garza, Rafael González Bravo, Perla Esperanza Ontiveros Castañeda, Luis Antonio Marquez Frausto, Manuel Gándara Rodríguez, Martha Elena Gutiérrez Delgado, Javier Ramos Manzano, Carolina Ponce Macías, Horacio Jesús Cisneros González y Nailea García Galván — *Guadalajara, México. 2026.*

272 P. 23 cm.

Primera edición

D. R. © copyright 2026. **Autores:** Francisco Javier Torres Barajas, Alejandro Lozano González, Luz Karina Hernández Garza, Rafael González Bravo, Perla Esperanza Ontiveros Castañeda, Luis Antonio Marquez Frausto, Manuel Gándara Rodríguez, Martha Elena Gutiérrez Delgado, Javier Ramos Manzano, Carolina Ponce Macías, Horacio Jesús Cisneros González y Nailea García Galván.

ISBN: **979-13-88349-52-2**

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006512>



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.

Contenido

Prefacio	12
Introducción	15
I Fundamentos y rol estratégico de los CEDIS	
Capítulo 1 Evolución de los centros de distribución en la cadena de suministro.....	21
Capítulo 2 Tipos de CEDIS: regionales, nacionales, <i>cross-docking</i> , consolidación, <i>e-commerce</i>	29
Capítulo 3 Alineación con la estrategia empresarial y el modelo de negocio.....	41
II Planeación y localización	
Capítulo 4 Metodologías para la localización de instalaciones (centro de gravedad, modelos matemáticos y análisis de redes)	55
Capítulo 5 Factores críticos: cercanía a proveedores, clientes, infraestructura vial y zonas de abasto.....	67
Capítulo 6 Análisis de mercado, proyecciones de demanda y capacidad.....	81

III

Diseño funcional y arquitectónico

Capítulo 7

Layout interno: zonas de recepción, almacenamiento, *picking*, empaque y embarque 99

Capítulo 8

Diseño de flujo de materiales y personas 115

Capítulo 9

Sistemas de almacenamiento: estanterías, racks, AS/RS y sistemas compactos 131

Capítulo 10

Normatividad aplicable: uso de suelo, construcción, protección civil y seguridad 147

IV

Dimensionamiento y capacidad

Capítulo 11

Cálculo de áreas: almacenamiento dinámico y estático 165

Capítulo 12

Determinación de capacidad operativa (unidades/día, órdenes/día) 179

Capítulo 13

Gestión de estacionalidad y picos de demanda 195

V

Tecnología, automatización y sistemas de información

Capítulo 14

WMS (*Warehouse Management System*), WCS, TMS y ERP 213

Capítulo 15

Automatización: bandas transportadoras, clasificadores, robots móviles (AMR), voz y *pick-to-light* 227

Capítulo 16

Digitalización, IoT, gemelos digitales y CEDIS 4.0.....241

Glosario 255

Bibliografías y referencias 263

La innovación significativa no se logra hablando de nuevas ideas: hay que construir y probar prototipos

– Peter M. Senge

Prefacio

El presente libro no solo es un compendio de conocimientos técnicos y estratégicos sobre la planeación, diseño e instalación de centros de distribución. Ante todo, es una herramienta de formación diseñada pensando en ustedes: los futuros profesionales que asumirán el reto de liderar proyectos logísticos en un entorno cada vez más complejo, digitalizado y demandante.

Cuando un egresado de ingeniería industrial, administración, logística o carreras afines se enfrenta al mundo laboral, una de las áreas donde se concentran las mayores oportunidades —y también los mayores desafíos— es en la gestión de instalaciones logísticas. Las empresas no buscan solo teóricos; requieren profesionales capaces de diagnosticar, diseñar, ejecutar y optimizar centros de distribución que operen con eficiencia, calidad y visión de futuro. Este libro ha sido concebido para formar exactamente ese perfil.

A lo largo de su trayectoria académica, usted ha adquirido fundamentos sólidos en administración, matemáticas, análisis de procesos y cadena de suministro. Nuestra intención es brindarle un puente que conecte esos conocimientos con la realidad aplicada de los CEDIS. Al concluir esta obra, usted habrá desarrollado un conjunto de competencias que le permitirán destacar en su ejercicio profesional:

Competencias estratégicas

Será capaz de participar activamente en la definición del rol de un centro de distribución dentro de la estrategia corporativa, evaluando su viabilidad, su ubicación óptima y su capacidad de respuesta ante escenarios de crecimiento, estacionalidad y nuevas tendencias como el comercio electrónico. Aprenderá a tomar decisiones con base en datos, modelos de localización y análisis de redes de suministro.

Competencias técnicas y de diseño

Adquirirá la habilidad para dimensionar áreas, diseñar flujos de materiales, seleccionar sistemas de almacenamiento y equipamiento, y proponer layouts funcionales que maximicen la productividad y minimicen los movimientos innecesarios. Podrá interpretar planos, aplicar normatividad vigente y evaluar distintas alternativas tecnológicas, desde operaciones manuales hasta esquemas de alta automatización.

Competencias en gestión de proyectos

Desarrollará la capacidad para planificar y coordinar un proyecto de instalación de un CEDIS desde sus fases iniciales hasta la puesta en marcha. Esto incluye la elaboración de cronogramas, la gestión de proveedores, el control de costos, la supervisión de la construcción o adecuación de espacios y la ejecución de pruebas funcionales que garanticen una operación exitosa.

Competencias analíticas y de mejora continua

Sabrá definir, calcular e interpretar los indicadores clave de desempeño (KPIs) que permiten evaluar la salud operativa de un centro de distribución. Estará preparado para identificar cuellos de botella, proponer mejoras basadas en metodologías como Lean Warehousing o Six Sigma y utilizar sistemas de gestión de almacenes (WMS) como herramientas de control y optimización.

Competencias en sostenibilidad e innovación

Comprenderá la importancia de integrar criterios de sostenibilidad en el diseño y operación de los CEDIS, lo que considera la eficiencia energética, la reducción de huella de carbono, la gestión responsable de residuos y el uso de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), los gemelos digitales y la inteligencia artificial aplicada a la logística.

Competencias transversales

Más allá de los aspectos técnicos, este libro fomenta el desarrollo de habilidades blandas esenciales: pensamiento crítico para evaluar alternativas, capacidad de comunicación para presentar proyectos a equipos multidisciplinarios y alta dirección, y una visión sistémica que le permitirá entender cómo cada decisión en el CEDIS impacta en toda la cadena de suministro.

Al cerrar esta obra, usted no solo habrá recorrido los conceptos fundamentales de la planeación y desarrollo de centros de distribución; habrá construido una base sólida para enfrentar con confianza los retos profesionales que le esperan. La diferencia entre un profesional que conoce la teoría y uno que puede ejecutar proyectos exitosos radica precisamente en las competencias que aquí buscamos desarrollar.

Invitamos a cada lector a abordar este material no como un texto más, sino como una bitácora de su propio crecimiento profesional. Las empresas del futuro —y las del presente— necesitan líderes logísticos con visión integral, capacidad técnica y compromiso con la excelencia. Nuestro propósito es contribuir a que usted se convierta en uno de ellos.

Introducción

En el entramado complejo de la cadena de suministro global, existe un nodo que concentra la materialización de la estrategia logística: el centro de distribución. Lejos de ser un simple "almacén" donde se resguardan mercancías, el CEDIS se ha convertido en el centro neurálgico que equilibra la oferta con la demanda, orquesta los flujos de materiales y define, en gran medida, la experiencia final del cliente. En un entorno donde los consumidores exigen tiempos de entrega cada vez más cortos, altos niveles de disponibilidad y una perfecta trazabilidad, la planeación y desarrollo de estas instalaciones se erige como una ventaja competitiva indispensable.

Este libro, titulado *Planeación y Desarrollo de Centros de Distribución: Enfoque Integral* nace con el propósito de dotar a los estudiantes universitarios de las ciencias administrativas, ingeniería industrial, logística y afines de una visión holística y estructurada sobre el ciclo de vida de un CEDIS. Abordamos el tema desde una perspectiva que integra tanto la reflexión estratégica como la aplicación técnica, entendiendo que el éxito de estas instalaciones no reside únicamente en su diseño físico, sino en su alineación con los objetivos del negocio, la correcta selección de tecnologías y la capacidad de adaptación a un mercado dinámico.

A lo largo de los capítulos, guiaremos al lector a través de las cuatro grandes etapas que conforman el desarrollo de un centro de distribución: la planeación estratégica, donde se definen la ubicación, el rol y la capacidad futura; el diseño funcional y arquitectónico, que traduce los flujos de trabajo en layouts eficientes y seguros; la selección tecnológica y de equipamiento, donde se evalúa el nivel de automatización adecuado; y, finalmente, la instalación y puesta en marcha, etapa crítica que asegura que todo lo proyectado se concrete en operaciones reales, medibles y sostenibles.

Cada capítulo ha sido desarrollado con un enfoque práctico, incorporando metodologías reconocidas, indicadores clave de desempeño (KPIs), estudios de caso y reflexiones sobre las tendencias que están transfor-

mando la industria, como la digitalización, la sostenibilidad y los modelos omnicanal. Buscamos que el estudiante no solo comprenda los conceptos, sino que desarrolle la capacidad de analizar, dimensionar y tomar decisiones fundamentadas frente a los desafíos que plantea la instalación y operación de un CEDIS en la actualidad.

La logística, en su esencia, es la ciencia de hacer que las cosas sucedan en el lugar correcto, en el momento preciso y con el menor costo posible. Los centros de distribución son el escenario donde esta ciencia cobra vida. Invitamos al lector a adentrarse en este fascinante campo, donde la teoría se encuentra con la operación y donde cada decisión de diseño impacta directamente en la competitividad de las organizaciones. Bienvenidos a un viaje integral por la planeación y desarrollo de los centros que mueven al mundo.

I

Fundamentos y rol estratégico de los CEDIS

Introducción

Para comprender la complejidad y relevancia de los centros de distribución en el entramado logístico contemporáneo, resulta indispensable iniciar el recorrido por sus fundamentos conceptuales y su posicionamiento dentro de la estrategia corporativa. Este capítulo introductorio sienta las bases teóricas y estratégicas que permitirán al lector abordar, con una visión integral, el resto de los temas desarrollados en la obra.

Los centros de distribución, comúnmente conocidos como CEDIS, han evolucionado de manera significativa desde su concepción original como simples almacenes de resguardo de mercancías. En el contexto actual, estas instalaciones se configuran como nodos críticos dentro de la cadena de suministro, donde convergen flujos de materiales, información y valor. Su función trasciende el simple almacenamiento para convertirse en centros de consolidación, ruptura de carga, valor agregado, sincronización de la oferta con la demanda y, en muchos casos, en el punto de contacto más cercano con el cliente final. Esta transformación responde a las exigencias de mercados cada vez más dinámicos, donde la velocidad de respuesta, la flexibilidad operativa y la eficiencia en costos se han convertido en factores determinantes de la competitividad empresarial.

En este capítulo se aborda, en primer término, la definición y clasificación de los centros de distribución, distinguiendo entre las diversas tipologías existentes —como los centros regionales, nacionales, de cross-docking, de consolidación, o aquellos especializados en el comercio electrónico—, cada una con características funcionales y requerimientos de diseño particulares. Asimismo, se explora la evolución histórica de estas instalaciones, desde los tradicionales almacenes hasta los modernos CEDIS 4.0, caracterizados por su integración tecnológica, automatización y capacidad de adaptación a entornos omnicanal.

Un aspecto central que se desarrolla en estas páginas es el rol estratégico que los centros de distribución desempeñan dentro de la cadena

de suministro. Se analiza cómo su ubicación, capacidad, diseño y modelo operativo deben alinearse con los objetivos generales de la organización, ya sea para soportar estrategias de bajo costo, diferenciación o respuesta rápida. Se examina también la relación de los CEDIS con otros eslabones de la cadena —proveedores, transporte, puntos de venta o consumidores finales— y su impacto en indicadores clave como el nivel de servicio, la rotación de inventarios, el costo logístico total y la huella de carbono.

Finalmente, este capítulo introduce al lector en la visión sistémica que se mantendrá a lo largo de toda la obra: los centros de distribución no operan de manera aislada, sino como parte de una red logística interdependiente. Las decisiones de planeación, diseño e instalación de un CEDIS repercuten en toda la cadena de suministro y, por tanto, requieren un enfoque integral que considere tanto los aspectos tácticos y operativos como los estratégicos y de sostenibilidad.

Al concluir este capítulo, el lector habrá consolidado una comprensión sólida sobre la naturaleza y relevancia de los centros de distribución, así como los criterios fundamentales que orientan su diseño y gestión. Este conocimiento constituye el andamiaje conceptual necesario para abordar con profundidad los temas subsiguientes, relativos a la localización, dimensionamiento, diseño funcional, selección tecnológica, instalación y operación de estas instalaciones estratégicas.

Capítulo 1

Evolución de los centros de distribución en la cadena de suministro

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006529>



1.1 Evolución de los centros de distribución en la cadena de suministro

La comprensión del estado actual y las tendencias futuras de los centros de distribución requiere necesariamente un análisis retrospectivo de su evolución. Esta trayectoria histórica refleja no solo los avances tecnológicos y administrativos, sino también las transformaciones profundas en los modelos de negocio, las expectativas de los consumidores y la estructura misma de las cadenas de suministro globales.

1.1.1 Los orígenes: el almacén tradicional

En sus orígenes, las instalaciones destinadas al resguardo de mercancías cumplían una función eminentemente pasiva. Durante gran parte del siglo XIX y principios del XX, los almacenes tradicionales operaban como espacios de custodia donde los productos permanecían largos periodos antes de ser despachados. Su función principal era compensar los desfases temporales entre la producción y el consumo, actuando como amortiguadores de inventario.

Estas instalaciones se caracterizaban por:

- Diseños basados en la simple acumulación de existencias.
- Escasa o nula integración con los procesos productivos o comerciales.
- Manejo predominantemente manual de cargas.
- Sistemas de registro de inventarios basados en tarjetas o registros físicos.
- Localización determinada por la cercanía a plantas productivas o puertos.

Durante esta etapa, el concepto de "gestión de almacenes" apenas se diferenciaba del simple resguardo, y la función logística carecía del reconocimiento estratégico que ostenta en la actualidad.

1.1.2 La era de la consolidación y el *cross-docking* (1960-1980)

La posguerra y el auge del consumo masivo en las décadas posteriores impulsaron una transformación significativa en la función de las instalaciones logísticas. Las empresas comenzaron a reconocer que la concentración de inventarios y la consolidación de cargas generaban economías de escala sustanciales.

Durante este periodo, los centros de distribución empezaron a asumir funciones más activas:

- **Consolidación de cargas:** la recepción de múltiples envíos pequeños de proveedores para conformar cargas completas con destino a clientes o puntos de venta.
- **Ruptura de carga:** la recepción de grandes volúmenes de mercancía para su fraccionamiento y distribución en cantidades ajustadas a los requerimientos de cada destino.
- **Surgimiento del *cross-docking*:** una práctica innovadora que permitía el tránsito directo de mercancías de la recepción al despacho, con mínimo o nulo almacenamiento intermedio. Este modelo redujo significativamente los tiempos de ciclo y los costos de manejo.

La incorporación de los primeros sistemas de gestión de almacenes (WMS) basados en tecnologías de la información, aunque rudimentarios en comparación con los actuales, marcó el inicio de la digitalización de las operaciones logísticas.

1.1.3 La logística como función estratégica (1990-2000)

El cambio de siglo trajo consigo una transformación conceptual fundamental: la logística dejó de ser vista como un centro de costo para convertirse en un habilitador estratégico de la competitividad empresarial. Los centros de distribución adquirieron protagonismo como nodos críticos capaces de generar valor más allá de la simple reducción de costos.

Esta etapa se caracterizó por:

- **Integración con la cadena de suministro:** Los CEDIS comenzaron a operar como interfaces entre proveedores, plantas productivas y clientes, sincronizando flujos en lugar de actuar como silos aislados.
- **Expansión de redes:** Las empresas desarrollaron redes multicapa de centros de distribución, diferenciando entre CEDIS regionales, nacionales y locales.
- **Adopción de metodologías de mejora continua:** Prácticas como Lean Warehousing y Six Sigma se incorporaron al diseño y operación de almacenes, enfocándose en la eliminación de desperdicios y la reducción de la variabilidad.
- **Automatización selectiva:** La incorporación de equipos como bandas transportadoras, clasificadores automáticos y sistemas de almacenamiento vertical comenzó a transformar los layouts y los procesos.

Durante esta década, los centros de distribución consolidaron su papel como puntos de equilibrio entre la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta, atendiendo cadenas de suministro cada vez más complejas y globalizadas.

1.1.4 La era omnicanal y la digitalización (década de 2010-2020)

El auge del comercio electrónico y la transformación digital impusieron nuevas exigencias sobre los centros de distribución, que debieron adaptarse rápidamente a modelos de negocio donde el cliente final se convirtió en el centro de todas las operaciones.

Las principales transformaciones de esta etapa incluyeron:

- **Operación omnicanal:** Los CEDIS debieron atender simultáneamente flujos hacia tiendas físicas y hacia consumidores finales, cada uno con requerimientos distintos en términos de empaque, tiempos de entrega y gestión de devoluciones.
- **Microfulfillment:** Surgieron centros de distribución de pequeña escala ubicados en zonas urbanas, diseñados específicamente para cumplir con entregas de última milla en tiempos reducidos (mismo día o menos de 24 horas).

- **Madurez del WMS y adopción de tecnologías emergentes:** Los sistemas de gestión de almacenes evolucionaron hacia plataformas integrales, integradas con sistemas de transporte (TMS) y planificación de recursos empresariales (ERP). Se incorporaron tecnologías como el *picking* por voz, la realidad aumentada, los vehículos guiados automáticamente (AGV) y los robots autónomos móviles (AMR).
- **Big data y analítica avanzada:** La capacidad de procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real permitió optimizar la asignación de recursos, predecir patrones de demanda y ajustar dinámicamente los niveles de inventario.

1.1.5 Los CEDIS 4.0 y la logística inteligente (actualidad y futuro)

En la actualidad, los centros de distribución se encuentran en plena transición hacia lo que se denomina CEDIS 4.0, concepto que evoca la cuarta revolución industrial aplicada a la logística. Esta nueva generación de instalaciones se caracteriza por la convergencia de tecnologías físicas y digitales que generan sistemas autónomos, adaptativos y altamente eficientes.

Los rasgos distintivos de los CEDIS 4.0 son:

Automatización avanzada y robótica colaborativa

La automatización ha trascendido los límites de los sistemas rígidos para incorporar soluciones flexibles. Los robots autónomos móviles (AMR) navegan por las instalaciones sin necesidad de infraestructura fija; los sistemas de *picking* robótico con visión artificial seleccionan productos de formas y tamaños variados, y los exoesqueletos asisten al personal en tareas de alto esfuerzo físico.

Gemelos digitales

La creación de réplicas virtuales de los centros de distribución permite simular escenarios, probar configuraciones y optimizar procesos antes de implementarlos en el mundo físico. Esta tecnología reduce significativamente los riesgos en la toma de decisiones y acelera los tiempos de puesta en marcha.

Internet de las cosas (IoT) y sensores inteligentes

La instrumentación de estanterías, equipos y productos con sensores permite el monitoreo en tiempo real de condiciones ambientales, nive-

les de inventario, ubicación de activos y desempeño de equipos. La información generada alimenta sistemas predictivos que anticipan fallas y optimizan el mantenimiento.

Inteligencia artificial y machine learning

Los algoritmos de aprendizaje automático optimizan la asignación de ubicaciones de almacenamiento (slotting), la secuenciación de órdenes de picking, la programación de recursos y la planificación de la demanda, logrando niveles de eficiencia superiores a los alcanzables con métodos tradicionales.

Sostenibilidad integral

La eficiencia energética, la reducción de la huella de carbono y la economía circular se han incorporado como criterios centrales en el diseño y operación de los CEDIS. Los centros de distribución modernos incorporan sistemas de iluminación LED con control inteligente, paneles solares, sistemas de captación de agua pluvial, flotas de equipos eléctricos y programas de gestión de residuos y empaques reutilizables.

1.1.6 Factores impulsores de la evolución

La evolución descrita no ha ocurrido de manera aislada, sino como respuesta a fuerzas transformadoras que continúan moldeando el futuro de los centros de distribución:

Factor impulsor	Impacto en los CEDIS
Globalización de las cadenas de suministro	Redes de distribución más extensas y complejas; necesidad de centros estratégicamente ubicados.
Cambios en el comportamiento del consumidor	Exigencia de entregas más rápidas, mayor flexibilidad y opciones omnicanal.
Avances tecnológicos	Nuevas posibilidades de automatización, digitalización y análisis de datos.
Presión por reducción de costos	Necesidad de optimizar cada proceso y eliminar desperdicios.
Sostenibilidad y responsabilidad social	Incorporación de criterios ambientales en diseño, construcción y operación.
Disrupciones y resiliencia	Desarrollo de CEDIS con mayor capacidad de adaptación ante crisis (pandemia, conflictos geopolíticos, desastres naturales).

1.1.7 Implicaciones para la planeación y diseño

La comprensión de esta trayectoria evolutiva resulta fundamental para los profesionales encargados de planear y desarrollar centros de distribución. Las lecciones aprendidas en cada etapa permiten:

- **Evitar la obsolescencia funcional:** diseñar instalaciones con flexibilidad suficiente para adaptarse a cambios en los modelos de negocio y en las tecnologías.
- **Dimensionar con visión de futuro:** considerar no solo las necesidades actuales, sino las tendencias de crecimiento y transformación del mercado.
- **Seleccionar el nivel adecuado de automatización:** evaluar con criterio las inversiones en tecnología, equilibrando el retorno esperado con la flexibilidad operativa.
- **Integrar la sostenibilidad desde el origen:** incorporar criterios ambientales en la fase de diseño, donde el impacto es mayor y el costo marginal es menor.
- **Construir resiliencia:** desarrollar capacidades para enfrentar interrupciones mediante redundancias controladas, flexibilidad operativa y planes de contingencia.

La evolución de los centros de distribución, desde los almacenes pasivos del pasado hasta los CEDIS 4.0 inteligentes y sostenibles del presente, refleja la transformación profunda de la logística como disciplina estratégica. Esta trayectoria evidencia que los centros de distribución no son instalaciones estáticas, sino sistemas vivos que deben concebirse con capacidad de adaptación y mejora continua.

Para el profesional de la logística, comprender esta evolución no constituye un ejercicio meramente histórico, sino una herramienta analítica esencial para tomar decisiones informadas sobre la planeación, diseño e instalación de CEDIS. Las tendencias actuales —automatización inteligente, digitalización, sostenibilidad y resiliencia— no son modas pasajeras, sino la manifestación de fuerzas profundas que seguirán moldeando el futuro de estas instalaciones estratégicas.

En los capítulos subsiguientes, se abordará cómo estos fundamentos históricos y conceptuales se traducen en metodologías concretas para la

localización, dimensionamiento, diseño funcional, selección tecnológica y puesta en marcha de centros de distribución que respondan a las exigencias de la cadena de suministro contemporánea.

Capítulo 2

**Tipos de CEDIS: regionales, nacionales,
cross-docking, consolidación, *e-commerce***

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006536>



1.2 Tipos de CEDIS: regionales, nacionales, *cross-docking*, consolidación, *e-commerce*

La clasificación de los centros de distribución constituye un aspecto fundamental para comprender su función dentro de la cadena de suministro y para orientar adecuadamente los procesos de planeación, diseño e instalación. No existe un modelo único de CEDIS; por el contrario, las instalaciones logísticas se configuran en función de la estrategia empresarial, la naturaleza de los productos, la estructura de la red de suministro y las características de la demanda que deben atender.

Esta sección aborda las principales tipologías de centros de distribución, describiendo sus características funcionales, su rol estratégico, los criterios de diseño que las distinguen y los casos de aplicación más frecuentes. La comprensión de estas clasificaciones permite al profesional de la logística seleccionar el modelo más adecuado para cada contexto y diseñar instalaciones alineadas con los objetivos organizacionales.

1.2.1 CEDIS regionales

Los centros de distribución regionales constituyen la primera capa de una red logística multicapa. Su función principal es abastecer a un conjunto geográficamente definido de puntos de venta, clientes o centros de distribución de menor escala dentro de un territorio extenso.

Características funcionales

- Cubren territorios amplios que pueden abarcar varios estados, provincias o incluso países dentro de una misma región geográfica.
- Manejan volúmenes elevados de mercancía, operando como puntos de consolidación de inventarios provenientes de proveedores nacionales o internacionales.

- Almacenan productos con rotaciones variables, incluyendo tanto artículos de alta demanda como productos de menor rotación que requieren stock de seguridad.
- Funcionan como centros de ruptura de carga, recibiendo grandes volúmenes y distribuyéndolos en cantidades ajustadas a las necesidades de los destinos secundarios.

Rol estratégico

Los CEDIS regionales permiten a las empresas equilibrar la cercanía al mercado con las economías de escala en la gestión de inventarios. Al concentrar existencias en ubicaciones estratégicas, se reduce el número de puntos de almacenamiento necesarios para cubrir un territorio extenso, optimizando la inversión en inventario y simplificando la gestión logística.

Criterios de diseño

- Ubicación determinada por análisis de redes logísticas, considerando tiempos de tránsito hacia los mercados atendidos y acceso a infraestructura de transporte.
- Dimensionamiento basado en proyecciones de demanda agregada del territorio y niveles de servicio establecidos.
- Layout diseñado para recibir grandes volúmenes en modalidad de carga completa (full truckload) y despachar hacia múltiples destinos en modalidades de carga consolidada o menos que camión (LTL).
- Capacidad de almacenamiento estático y dinámico equilibrada según los perfiles de rotación de los productos.

Aplicaciones comunes

Empresas de consumo masivo, cadenas de retail, farmacéuticas y autopartistas suelen operar redes de CEDIS regionales para abastecer sus puntos de venta o centros de distribución secundarios en territorios extensos.

1.2.2 CEDIS nacionales

Los centros de distribución nacionales representan el nivel más alto de concentración de inventario dentro de un país. Su función es abastecer a toda la red logística nacional, ya sea directamente hacia los puntos de venta o a través de centros regionales subordinados.

Características funcionales

- Única instalación o número reducido de centros que cubren la totalidad del territorio nacional.
- Manejo de inventarios de alta rotación junto con productos de baja rotación, estacionales o de lanzamiento.
- Mayor complejidad operativa debido a la diversidad de clientes internos, canales de distribución y requisitos de servicio.
- Frecuentemente, funcionan como punto de entrada de importaciones, gestionando procesos de recepción de contenedores, desconsolidación, aduanas y distribución nacional.

Rol estratégico

Los CEDIS nacionales permiten maximizar las economías de escala en la gestión de inventarios, reducir los costos de almacenamiento al consolidar existencias en un solo punto y simplificar la administración logística. Sin embargo, su utilización implica mayores distancias de transporte hacia los mercados finales, lo que puede afectar los tiempos de respuesta.

Criterios de diseño

- Ubicación estratégica con alta conectividad a puertos, aeropuertos, principales ejes carreteros y centros de consumo.
- Instalaciones de gran escala, frecuentemente superiores a los 50,000 metros cuadrados, con amplios patios de maniobras para una alta concurrencia de unidades de transporte.
- Diseño orientado a la eficiencia en procesos de recepción, almacenamiento y despacho con altos volúmenes de movimiento.
- Sistemas de gestión de almacenes (WMS) robustos para controlar inventarios de alta complejidad y diversidad.

Aplicaciones comunes

Empresas con modelos de negocio centralizados, importadores de gran escala, industrias con alta rotación de inventarios y organizaciones que buscan maximizar economías de escala en la gestión de existencias.

1.2.3 CEDIS de *cross-docking*

El *cross-docking* representa un modelo operativo que minimiza o elimina el almacenamiento intermedio de mercancías. En este esquema, los productos recibidos son transferidos directamente desde la plataforma de recepción hacia la plataforma de despacho, con tiempos de permanencia en la instalación que suelen medirse en horas en lugar de días o semanas.

Características funcionales

- Flujo continuo de mercancías sin almacenamiento estático o con almacenamiento mínimo para consolidación de cargas.
- Operación sincronizada donde la recepción y el despacho se programan de manera coordinada.
- Manejo de productos con alta rotación, perecederos o aquellos cuya cadena de suministro está diseñada para operar con inventarios mínimos.
- Dos variantes principales: *cross-docking* de predistribución (donde las mercancías llegan etiquetadas y clasificadas por destino) y *cross-docking* de posdistribución (donde la clasificación por destino se realiza en la instalación).

Rol estratégico

El *cross-docking* permite reducir significativamente los costos de almacenamiento, minimizar los tiempos de ciclo de los inventarios, disminuir el manejo de materiales y mejorar los tiempos de respuesta al cliente. Es particularmente valioso en cadenas de suministro de productos de alta rotación, perecederos o con alta sensibilidad al tiempo.

Criterios de diseño

- *Layout* en forma de "I", "L" o "T" que facilite el flujo directo entre recepción y despacho.

- Amplias bahías de carga y descarga para minimizar los tiempos de maniobra.
- Sistemas de clasificación eficientes, que pueden incluir bandas transportadoras, clasificadores automáticos o carruseles.
- Alta integración tecnológica para sincronizar la información de recepciones con las necesidades de despacho.
- Escaso o nulo espacio destinado a almacenamiento estático; predominio de áreas de consolidación temporal.

Aplicaciones comunes

Cadenas de supermercados, empresas de paquetería y mensajería, fabricantes de productos perecederos y operadores logísticos que gestionan flujos de alta rotación con destinos múltiples.

1.2.4 CEDIS de consolidación

Los centros de distribución de consolidación tienen como función principal agrupar cargas provenientes de múltiples proveedores para conformar envíos completos hacia un destino común. Su lógica operativa responde a la necesidad de optimizar el costo de transporte mediante la generación de economías de escala en los despachos.

Características funcionales

- Recepción de múltiples envíos parciales de diferentes proveedores, frecuentemente de menor escala.
- Consolidación física de mercancías en unidades de carga completas (camión completo, contenedor) con destino a un cliente, punto de venta o región específica.
- Permanencia temporal de mercancías mientras se completan las cargas consolidadas.
- Gestión de flujos asincrónicos donde las recepciones y despachos no necesariamente coinciden en el tiempo.

Rol estratégico

Los CEDIS de consolidación permiten a los compradores reducir los costos de transporte asociados a la recepción de múltiples envíos pequeños, facilitan el control de calidad centralizado antes del envío a destino final y simplifican la gestión de proveedores al consolidar la recepción en un solo punto.

Criterios de diseño

- Áreas de almacenamiento temporal configuradas para facilitar la consolidación de cargas por destino.
- Zonas de preparación de pedidos orientadas a la conformación de unidades de carga completa.
- Sistemas de gestión que permitan rastrear el origen y destino de cada mercancía consolidada.
- Flexibilidad operativa para manejar flujos variables según los ciclos de producción o abastecimiento de los proveedores.

Aplicaciones comunes

Importadores que consolidan cargas de múltiples proveedores asiáticos para su envío a mercados occidentales, cadenas de retail que agrupan productos de diversos fabricantes para su distribución a tiendas y plataformas de comercio electrónico que consolidan productos de vendedores múltiples.

1.2.5 CEDIS para comercio electrónico (e-commerce)

El crecimiento exponencial del comercio electrónico ha impulsado el desarrollo de una tipología especializada de centros de distribución, diseñados para atender las particularidades del modelo de negocio directo al consumidor (B2C). Estos CEDIS presentan diferencias sustanciales respecto a los centros tradicionales orientados al abastecimiento de tiendas físicas (B2B).

Características funcionales

- **Unidades de manejo unitarias:** A diferencia de los CEDIS tradicionales que manejan tarimas o cajas, los centros de *e-commerce* operan predominantemente con piezas individuales (*each picking*).

- **Alta fragmentación de pedidos:** Cada orden de cliente contiene típicamente un número reducido de líneas y unidades.
- **Amplia variedad de SKU (unidades de mantenimiento de stock):** Los centros de *e-commerce* manejan catálogos extensos, frecuentemente con miles o cientos de miles de referencias.
- **Procesos de empaque especializados:** Cada pedido requiere empaque adaptado al producto, incluyendo materiales de protección, presentación y documentación.
- **Gestión de devoluciones integrada:** Los CEDIS de *e-commerce* requieren áreas específicas para la recepción, clasificación y reintegración de productos devueltos (*reverse logistics*).

Rol estratégico

Estos centros son el eslabón crítico que conecta el inventario digital con la experiencia física del cliente. Su eficiencia determina directamente los tiempos de entrega, la precisión de los envíos, los costos logísticos y la satisfacción del consumidor final.

Criterios de diseño

- *Layout* orientado a la eficiencia en procesos de picking, con zonas diferenciadas según la rotación de productos (zonas de alta, media y baja rotación).
- Sistemas de almacenamiento y *picking* optimizados para unidades individuales: estanterías selectivas, carruseles verticales, sistemas de lanzadera, módulos de *picking* automatizado.
- Tecnologías de *picking* avanzadas: *pick-to-light*, *voice picking*, sistemas de visión asistida, robots autónomos para *picking*.
- Áreas de empaque y embalaje dimensionadas para manejar grandes volúmenes de pedidos individuales.
- Zonas de clasificación y consolidación por rutas de última milla.
- Áreas específicas para gestión de devoluciones, con capacidad para recepción, inspección, clasificación y reintegración a inventario o disposición final.

Variantes dentro del e-commerce

Tipología	Descripción	Características distintivas
CEDIS de gran escala	Instalaciones de gran tamaño (frecuentemente >50 000 m ²) que concentran inventario para mercados nacionales o regionales extensos	Alta automatización, sistemas de clasificación de alta capacidad, catálogos extensos
Microfulfillment centers	Instalaciones de pequeña escala ubicadas en zonas urbanas, diseñadas para entregas en tiempos reducidos (mismo día o menos de 24 horas)	Alta densidad de almacenamiento, automatización intensiva, ubicación estratégica en áreas metropolitanas
Dark stores	Tiendas físicas convertidas en centros de cumplimiento exclusivo para pedidos en línea, sin atención al público	Aprovechamiento de ubicaciones privilegiadas, rápida implementación, capacidad de picking por unidad
CEDIS de marketplace	Instalaciones que gestionan inventario de múltiples vendedores en una misma plataforma	Procesos diferenciados por tipo de vendedor, sistemas de gestión multicliente, validación de calidad en recepción

1.2.6 Comparativa entre tipologías

La siguiente tabla sintetiza las diferencias clave entre las principales tipologías de centros de distribución:

Característica	Regional	Nacional	Cross-docking	Consolidación	E-commerce
Unidad de manejo predominante	Tarima, caja	Tarima, caja	Tarima, caja	Tarima, caja	Pieza unitaria
Tiempo de permanencia de mercancía	Días a semanas	Semanas a meses	Horas	Días	Horas a días
Número de SKU promedio	Medio	Alto	Bajo a medio	Medio	Muy alto

Característica	Regional	Nacional	Cross-docking	Consolidación	E-commerce
Destino principal	CEDIS secundarios, tiendas	CEDIS regionales, tiendas	Tiendas, clientes	Clientes finales	Consumidor final
Automatización típica	Media	Media-alta	Alta	Media	Alta-muy alta
Complejidad operativa	Media	Media-alta	Alta	Media	Muy alta
Inversión en tecnología	Media	Alta	Alta	Media	Muy alta

1.3.7 Consideraciones para la selección del tipo de CEDIS

La elección del tipo de centro de distribución responde a un análisis integral que debe considerar múltiples factores. Los profesionales responsables de la planeación deben evaluar:

Naturaleza de la demanda

- Volúmenes de venta por producto y por canal
- Patrones de estacionalidad y variabilidad
- Concentración geográfica de los clientes

Características de los productos

- Dimensiones, peso y fragilidad
- Condiciones especiales de almacenamiento (temperatura controlada, humedad, etc.)
- Rotación y caducidad

Estrategia logística empresarial

- Niveles de servicio comprometidos (tiempos de entrega, disponibilidad)
- Estructura de la red de distribución
- Balance entre costo de almacenamiento y costo de transporte

Capacidad de inversión

- Disponibilidad de capital para infraestructura y tecnología
- Retorno esperado sobre la inversión
- Escalabilidad requerida

Flexibilidad y adaptabilidad

- Capacidad de la instalación para adaptarse a cambios en el modelo de negocio
- Posibilidad de reconversión ante nuevas tipologías de productos o canales

1.3.8 Tendencias en tipologías de CEDIS

El panorama de los centros de distribución continúa evolucionando, con tendencias que están redefiniendo las clasificaciones tradicionales:

Convergencia de modelos

Las empresas omnicanal están desarrollando centros híbridos capaces de atender simultáneamente flujos hacia tiendas físicas y hacia consumidores finales. Esta convergencia exige diseños flexibles que integren procesos de *picking* por unidad junto con manejo de cargas paletizadas.

Microfulfillment y urbanización

La presión por tiempos de entrega cada vez más reducidos está impulsando el desarrollo de centros de distribución de pequeña escala en zonas urbanas, modificando la tradicional estructura de redes logísticas concentradas en periferias industriales.

Especialización por categoría

Surgen centros especializados por tipo de producto (farmacéutico, moda, perecederos y productos voluminosos) que optimizan sus procesos y diseños según las características específicas de cada categoría.

Automatización adaptativa

La evolución tecnológica permite niveles de automatización antes reservados a grandes centros en instalaciones de menor escala, democratizando el acceso a sistemas de *picking* automatizado, robótica móvil y sistemas de gestión inteligentes.

Sostenibilidad como criterio de diseño

Los nuevos centros incorporan criterios de sostenibilidad desde su concepción, incluyendo eficiencia energética, materiales de construcción sustentables y diseños que minimizan la huella de carbono operativa.

La clasificación de los centros de distribución en tipologías diferenciadas responde a la diversidad de estrategias logísticas, características de producto y necesidades de mercado que las organizaciones deben atender. Cada tipo de CEDIS implica un conjunto específico de criterios de diseño, requerimientos tecnológicos y capacidades operativas que deben ser considerados desde las fases iniciales de planeación.

El profesional de la logística debe desarrollar la capacidad de identificar qué tipología o combinación de tipologías resulta más adecuada para cada contexto empresarial. En muchos casos, las organizaciones operan redes multicapa donde coexisten centros regionales, nacionales, de cross-docking y de e-commerce, cada uno cumpliendo una función específica dentro de la arquitectura logística global.

La comprensión de estas clasificaciones constituye un paso fundamental para abordar los capítulos subsiguientes, donde se desarrollarán las metodologías para la localización, dimensionamiento, diseño funcional y selección tecnológica de centros de distribución, ajustadas a las particularidades de cada tipología.

Capítulo 3

Alineación con la estrategia empresarial y el modelo de negocio

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006543>



1.3 Alineación con la estrategia empresarial y el modelo de negocio

La planeación, diseño e instalación de un centro de distribución no constituyen un ejercicio técnico aislado, sino un proceso que debe estar profundamente vinculado con la estrategia general de la organización y las particularidades de su modelo de negocio. Un CEDIS puede contar con la tecnología más avanzada, el layout más eficiente y la ubicación más estratégica; sin embargo, si no responde a los objetivos comerciales y a las necesidades específicas del mercado al que sirve, su contribución al éxito empresarial será limitada.

Esta sección aborda la relación fundamental entre los centros de distribución y la estrategia empresarial, explorando cómo las decisiones logísticas deben tomarse en función de los objetivos organizacionales, las ventajas competitivas buscadas y las características del modelo de negocio.

1.3.1 La cadena de suministro como extensión de la estrategia competitiva

La literatura especializada en administración estratégica ha establecido que la ventaja competitiva sostenible se construye a partir de la alineación entre las capacidades organizacionales y las demandas del entorno competitivo. En este contexto, la cadena de suministro —y específicamente los centros de distribución— se configuran como habilitadores críticos de la estrategia empresarial.

Estrategias de liderazgo en costos

Las organizaciones que compiten sobre la base de precios bajos requieren centros de distribución diseñados para la máxima eficiencia operativa. En estos casos, los CEDIS deben caracterizarse por:

- Altos volúmenes de movimiento con economías de escala
- Layouts optimizados para minimizar desplazamientos y tiempos de ciclo
- Procesos estandarizados con baja variabilidad
- Selección de tecnologías con retorno de inversión comprobado
- Localización estratégica para minimizar costos de transporte

Estrategias de diferenciación

Las empresas que compiten mediante atributos distintivos —calidad superior, servicio excepcional y personalización— requieren centros de distribución con características diferentes:

- Mayor flexibilidad para manejar productos diversos y pedidos personalizados
- Capacidad de respuesta ante variaciones en la demanda
- Procesos de valor agregado (etiquetado personalizado, empaques especiales, *kitting*)
- Tecnologías que permitan trazabilidad y control de calidad
- Capacidad para gestionar devoluciones de manera eficiente

Estrategias de enfoque o nicho

Las organizaciones que atienden segmentos específicos de mercado desarrollan CEDIS altamente especializados, diseñados para satisfacer las necesidades particulares de su nicho, ya sea en términos de condiciones de almacenamiento (temperatura controlada y atmósfera modificada), tiempos de respuesta (entregas en ventanas horarias específicas) o manejo de productos con características particulares.

1.3.2 El modelo de negocio como determinante del diseño logístico

El modelo de negocio de una organización —la forma en que crea, entrega y captura valor— impone requerimientos específicos sobre la configuración de sus centros de distribución. La siguiente tabla sintetiza cómo distintos modelos de negocio influyen en las decisiones de diseño logístico:

Modelo de negocio	Implicaciones para el CEDIS
Venta tradicional (B2B)	Flujos predecibles, unidades de manejo por tarima o caja, programación de despachos por rutas consolidadas
Comercio electrónico (B2C)	Alta fragmentación de pedidos, <i>picking</i> por unidad, sistemas de empaque eficientes, gestión integrada de devoluciones
Omnicanal	Capacidad híbrida para atender tiendas físicas y consumidores finales desde una misma instalación, flexibilidad operativa
Suscripción y recurrencia	Procesos automatizados para pedidos periódicos, gestión de ciclos de facturación y envío, alta previsibilidad
Distribución por catálogo	Manejo de amplia variedad de SKU con rotaciones variables, sistemas de picking eficientes para pedidos pequeños
Dropshipping	Instalaciones optimizadas para recepción de múltiples proveedores y reexpedición a consumidores finales, con mínimo almacenamiento intermedio

El caso de The Foschini Group (TFG) en Sudáfrica ilustra cómo la evolución del modelo de negocio hacia operaciones omnicanal impulsó la transformación de su infraestructura logística. La compañía consolidó 13 centros de distribución en 7 instalaciones de mayor escala, implementando sistemas automatizados de picking y un sistema de ejecución de almacenes (WES) que permite gestionar de manera integrada los flujos hacia tiendas físicas y los pedidos de comercio electrónico, alcanzando un procesamiento centralizado del 70 % de los pedidos en línea. Esta transformación no solo respondió a necesidades de eficiencia operativa, sino que se alineó directamente con la estrategia comercial de ofrecer una experiencia omnicanal fluida a los clientes.

1.3.3 Alineación estratégica en la práctica: el enfoque de diseño continuo

La alineación entre la estrategia empresarial y la configuración de los centros de distribución no puede ser un evento único. Las empresas que mantienen ventajas competitivas sostenibles en entornos dinámicos adoptan un enfoque de diseño continuo de la cadena de suministro, donde la confi-

guración de la red logística se revisa y ajusta periódicamente en función de los cambios en las condiciones del mercado, las expectativas de los clientes y las estrategias de abastecimiento.

El caso de Continental Battery Systems (CBS) demuestra los beneficios de este enfoque. Tras un periodo de crecimiento acelerado mediante adquisiciones, la compañía operaba más de 150 ubicaciones con inventarios inconsistentes, niveles de servicio variables y procesos no estandarizados. Mediante un proceso de rediseño continuo de su red logística, CBS logró reducir su inventario en un 40 %, mejorar sus niveles de servicio en más de 20 puntos porcentuales y disminuir sus costos operativos en un 10 %, todo ello mediante una mejor utilización de sus activos existentes y una clara definición del rol de cada instalación dentro de la estrategia corporativa.

1.3.4 El concepto de "Total Cost to Serve" (TCTS) como herramienta de alineación

Para lograr una alineación efectiva entre la estrategia empresarial y las decisiones sobre centros de distribución, las organizaciones requieren herramientas analíticas que permitan evaluar las implicaciones financieras de las alternativas de configuración logística. El enfoque de Total Cost to Serve (TCTS) se ha consolidado como una metodología fundamental en este sentido.

El TCTS proporciona visibilidad detallada de los costos incurridos en cada etapa de la cadena de suministro, desde el proveedor hasta el cliente final, desagregando costos de transporte, almacenamiento, manejo y financiamiento por SKU, cliente y canal. Esta transparencia permite a las organizaciones:

- Identificar qué segmentos de clientes o productos generan costos desproporcionados.
- Evaluar *trade-offs* entre diferentes configuraciones de red (centralizada vs. regional).
- Determinar el nivel óptimo de servicio para cada segmento de mercado.
- Alinear las inversiones en infraestructura logística con la rentabilidad de cada línea de negocio.

Un caso paradigmático es el de una empresa minorista con más de 20 centros de distribución y 25 000 SKU, que implementó modelos TCTS para optimizar su estrategia de ubicación de inventarios. El análisis reveló que los productos de alta rotación eran más rentables cuando se ubicaban en centros regionales cercanos a los mercados de consumo, mientras que los productos de baja rotación y alto valor tenían un mejor desempeño financiero cuando se concentraban en un centro centralizado. Esta diferenciación permitió a la empresa reducir sus costos de transporte en dos dígitos porcentuales y mejorar la utilización de sus instalaciones.

1.3.5 Estrategia de inventarios y posicionamiento de existencias

La alineación con la estrategia empresarial también determina cómo se gestiona y posiciona el inventario dentro de la red de centros de distribución. Las decisiones sobre centralización versus descentralización de existencias impactan directamente en el balance entre costos de almacenamiento, costos de transporte y niveles de servicio.

Estrategia de inventario centralizado

- **Ventajas:** menores niveles de inventario de seguridad (pooling effect), mayor rotación, simplificación de gestión.
- **Desventajas:** mayores distancias de transporte, tiempos de respuesta potencialmente más largos.

Aplicación ideal: productos de baja rotación, alto valor o con demanda predecible.**Estrategia de inventario descentralizado**

- **Ventajas:** tiempos de respuesta más cortos, menor costo de transporte de última milla.
- **Desventajas:** mayores niveles de inventario total, complejidad de gestión.
- **Aplicación ideal:** productos de alta rotación, con demanda variable o críticos para el nivel de servicio.

El caso de Génova, una compañía farmacéutica multinacional, ilustra esta disyuntiva estratégica. La empresa enfrentaba altos costos de inventario y productos con fecha de caducidad limitada, operando bajo un modelo de envíos directos desde su fábrica en Canadá hacia los mercados del sudeste asiático. La evaluación de un modelo alternativo con un centro de distribución regional en Singapur requería un análisis cuidadoso de los *trade-offs* entre costos de transporte, niveles de inventario, costos de financiamiento y capacidad de respuesta. La decisión final no podía basarse únicamente en consideraciones logísticas, sino que debía alinearse con la estrategia comercial de la compañía, incluyendo la posibilidad de reinvertir los ahorros en actividades de marketing para impulsar el crecimiento de las ventas.

1.3.6 Sostenibilidad como dimensión estratégica

En el contexto actual, la alineación con la estrategia empresarial también debe incorporar consideraciones de sostenibilidad ambiental y social. Los centros de distribución ya no son evaluados únicamente por su eficiencia económica, sino también por su huella de carbono, su impacto en las comunidades circundantes y su contribución a los objetivos de sostenibilidad corporativa.

Las estrategias de distribución que reducen las distancias recorridas, consolidan cargas y optimizan las rutas de transporte no solo generan ahorros económicos, sino que también disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero. Como se evidenció en el caso de L'Oréal Pakistan, la reconfiguración de la red de distribución para reducir los envíos de larga distancia no solo mejoró los tiempos de entrega, sino que también contribuyó a minimizar la huella de carbono de las operaciones logísticas.

1.3.7 Gestión del cambio y adopción organizacional

La alineación entre la estrategia empresarial y los centros de distribución no es únicamente un ejercicio de diseño técnico; implica también una dimensión de gestión del cambio. La implementación de nuevas configuraciones logísticas requiere la adopción por parte de los equipos operativos, la adaptación de procesos y, en muchos casos, el desarrollo de nuevas capacidades organizacionales.

El caso de CIA Conad, una cooperativa italiana que opera ocho centros de distribución, demuestra la importancia de la adopción organizacional en los proyectos de transformación logística. La implementación de un sistema avanzado de pronósticos y reaprovisionamiento requirió la identificación temprana de un "superusuario" dentro de la organización, quien facilitó la capacitación y la adopción por parte de los equipos operativos, acelerando la implementación y asegurando la obtención de los beneficios esperados.

1.3.8 Marco integrado para la alineación estratégica

A partir del análisis precedente, es posible sintetizar un marco integrado para la alineación entre la estrategia empresarial y la configuración de los centros de distribución, compuesto por los siguientes elementos:

- 1. Comprensión de la estrategia corporativa:** Definición clara de los objetivos de negocio, ventajas competitivas buscadas y modelo de generación de valor.
- 2. Identificación de requerimientos logísticos:** Traducción de la estrategia en requerimientos específicos para la cadena de suministro en términos de costos, tiempos de respuesta, flexibilidad y calidad de servicio.
- 3. Evaluación de alternativas de configuración:** Análisis de diferentes opciones de red (número, ubicación y rol de los CEDIS) utilizando herramientas como TCTS y modelado de escenarios.
- 4. Selección de tecnologías y procesos:** Definición del nivel de automatización, sistemas de información y procesos operativos que mejor soportan la estrategia.
- 5. Implementación y gestión del cambio:** Ejecución de los proyectos con atención a la adopción organizacional y el desarrollo de capacidades.
- 6. Revisión y ajuste continuo:** Monitoreo de resultados y adaptación de la configuración logística ante cambios en el entorno competitivo.

El presente capítulo ha establecido los fundamentos conceptuales y estratégicos que sustentan la planeación, diseño e instalación de centros de distribución. Se ha analizado la evolución histórica de estas instalaciones, desde los almacenes tradicionales hasta los modernos CEDIS 4.0, carac-

terizados por la automatización inteligente, la digitalización y la sostenibilidad integrada. Se han clasificado las principales tipologías de centros de distribución —regionales, nacionales, de *cross-docking*, consolidación y *e-commerce*— cada una con características funcionales y criterios de diseño particulares.

Finalmente, se ha abordado la imperativa necesidad de alinear la configuración logística con la estrategia empresarial y el modelo de negocio, enfatizando que la excelencia técnica solo genera valor cuando responde a los objetivos organizacionales.

La comprensión de estos fundamentos constituye el andamiaje necesario para abordar los capítulos subsiguientes, donde se desarrollarán las metodologías específicas para la localización, dimensionamiento, diseño funcional, selección tecnológica y puesta en marcha de centros de distribución.

El profesional de la logística que domina estos conceptos se encuentra en condiciones de tomar decisiones informadas que equilibran eficiencia operativa, calidad de servicio y sostenibilidad, lo que contribuye a la competitividad de las organizaciones en las que participa.

II

Planeación y localización

Introducción

La fase de planeación y localización constituye el cimiento sobre el cual se edifica todo proyecto de centro de distribución. Antes de definir el diseño arquitectónico, seleccionar los sistemas de almacenamiento, dimensionar áreas o adquirir equipamiento, resulta imperativo determinar dónde se ubicará la instalación y bajo qué criterios estratégicos se definirá su configuración. Una decisión errónea en esta etapa inicial puede traducirse en costos logísticos incrementados, niveles de servicio comprometidos y una competitividad erosionada durante toda la vida útil del CEDIS, que frecuentemente supera las dos décadas.

La localización de un centro de distribución no es un problema meramente geográfico ni una decisión que pueda tomarse exclusivamente con base en el costo del suelo o las facilidades fiscales de una región. Por el contrario, se trata de una decisión estratégica de alto impacto que involucra el equilibrio de múltiples variables: la cercanía a los mercados de consumo, la conectividad con proveedores y redes de transporte, la disponibilidad de talento humano calificado, las condiciones de infraestructura, el marco regulatorio y las proyecciones de crecimiento del negocio, entre otras. La complejidad inherente a esta decisión ha dado lugar al desarrollo de metodologías sistemáticas que combinan análisis cuantitativos —como modelos de optimización matemática— con evaluaciones cualitativas de factores no siempre cuantificables en términos económicos.

Este capítulo aborda de manera integral los procesos de planeación y localización de centros de distribución, estructurándose en torno a los elementos fundamentales que todo profesional de la logística debe dominar para llevar a cabo proyectos exitosos en esta materia.

En primer término, se desarrolla la planeación estratégica de la red de distribución, entendida como el proceso de definir el número, ubicación, tamaño y rol de cada instalación que conforma la arquitectura logística de una organización. Este análisis parte de la comprensión de los patrones de

demanda, la configuración de la base de proveedores, los niveles de servicio comprometidos y las restricciones presupuestales, para establecer la estructura óptima de la red que equilibre costos, tiempo de respuesta y resiliencia.

A continuación, se aborda la metodología para la localización de instalaciones, presentando las principales técnicas utilizadas tanto en el ámbito académico como en la práctica profesional. Se exploran desde modelos clásicos como el método del centro de gravedad y el análisis de puntos de demanda, hasta enfoques más sofisticados que incorporan programación lineal, modelado de escenarios y simulaciones de Monte Carlo. Cada técnica se analiza en términos de sus supuestos subyacentes, su aplicabilidad según el contexto y sus limitaciones, brindando al lector un conjunto de herramientas analíticas adaptables a distintas situaciones.

Posteriormente, se examinan los factores críticos para la selección de emplazamiento, desagregando las variables que deben ser evaluadas al momento de elegir no solo la región o ciudad, sino el sitio específico dentro de una zona geográfica. Se analizan factores relacionados con la infraestructura física (carreteras, ferrocarril, puertos, aeropuertos y servicios públicos), el entorno económico (costos de suelo, incentivos fiscales y disponibilidad de mano de obra), el marco normativo (usos de suelo, licencias ambientales y regulaciones municipales) y las condiciones de seguridad y riesgos.

Finalmente, se integran estos elementos en un marco metodológico integral que guía al profesional a través de las etapas sucesivas de un proyecto de localización, desde la definición de los criterios de decisión y la recopilación de información hasta la preselección de alternativas, la evaluación detallada y la selección final, lo cual culmina con la formulación de recomendaciones ejecutivas que respalden la toma de decisiones en los niveles directivos de la organización.

La planeación y localización de centros de distribución representa, en muchos sentidos, la fase más crítica del proceso de desarrollo de CEDIS. Las decisiones tomadas en esta etapa determinan el marco de posibilidades para todas las fases subsiguientes: el diseño funcional, la selección tecnológica, la instalación y la operación cotidiana. Un centro de distribución bien localizado y estratégicamente planeado se convierte en un activo competitivo de primer orden; uno mal ubicado, por el contrario, se transforma en una restricción estructural difícil de corregir sin incurrir en costos prohibitivos.

Al concluir este capítulo, el lector habrá desarrollado las competencias necesarias para liderar procesos de planeación de redes logísticas y selección de emplazamientos, integrando análisis cuantitativos rigurosos con la evaluación de factores cualitativos que inciden en el éxito de largo plazo de los proyectos de centros de distribución. Este conocimiento constituye una base indispensable para abordar los capítulos posteriores, donde se profundizará en el diseño funcional, el dimensionamiento de áreas y la selección de tecnologías que darán forma a la instalación una vez definida su ubicación estratégica.

Capítulo 4

Metodologías para la localización de instalaciones (centro de gravedad, modelos matemáticos y análisis de redes)

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006550>



2.1 Metodologías para la localización de instalaciones: centro de gravedad, modelos matemáticos y análisis de redes

La determinación de la ubicación óptima para un centro de distribución constituye uno de los problemas más complejos y trascendentales en el ámbito de la planeación logística. A lo largo de las últimas décadas, académicos y profesionales han desarrollado diversas metodologías para abordar este desafío, las cuales van desde modelos analíticos simples hasta sofisticados sistemas de optimización matemática y simulación. La selección de la metodología apropiada depende de la naturaleza del problema, la disponibilidad de datos, los recursos computacionales y el nivel de precisión requerido.

Esta sección presenta las principales metodologías utilizadas en la práctica profesional para la localización de centros de distribución, analizando sus fundamentos teóricos, sus aplicaciones prácticas, sus ventajas y limitaciones, así como los contextos en los que cada una resulta más adecuada.

2.1.1 Fundamentos conceptuales de los problemas de localización

Antes de abordar las metodologías específicas, resulta necesario comprender la naturaleza de los problemas de localización de instalaciones. En términos generales, estos problemas buscan determinar la ubicación de una o varias instalaciones (centros de distribución, plantas y almacenes) dentro de una red logística, con el objetivo de optimizar uno o varios criterios de desempeño, típicamente relacionados con costos, tiempos de servicio o niveles de cobertura.

Clasificación de los problemas de localización

Criterio	Tipos	Descripción
Número de instalaciones	Un solo sitio vs. múltiples sitios	Problemas de localización de una instalación (<i>single-facility</i>) o de redes completas (<i>multi-facility</i>)
Horizonte temporal	Estático vs. dinámico	Consideración de condiciones cambiantes a lo largo del tiempo versus un escenario fijo
Capacidad	Sin restricciones vs. con capacidad	Instalaciones con capacidad ilimitada versus restricciones de almacenamiento o procesamiento
Objetivo	Minimización de costos vs. maximización de cobertura	Enfoque en eficiencia económica versus enfoque en nivel de servicio
Espacio de solución	Continuo vs. discreto	Ubicaciones posibles en cualquier punto geográfico versus alternativas discretas predefinidas

2.1.2 Método del centro de gravedad

El método del centro de gravedad constituye una de las técnicas más antiguas y ampliamente utilizadas para la localización de una sola instalación. Su popularidad se debe a su simplicidad conceptual, su facilidad de implementación y la claridad de sus resultados.

Fundamento teórico

El método del centro de gravedad se basa en un principio físico elemental: el punto en el que se equilibran las fuerzas gravitacionales de múltiples masas distribuidas en un plano. Aplicado al contexto logístico, las "masas" corresponden a los volúmenes de flujo (demanda o suministro) en cada punto de la red, y las "fuerzas" representan los costos de transporte, que se asumen proporcionales a las distancias y a los volúmenes movilizados.

La formulación matemática del problema busca minimizar la función de costo total de transporte:

$$\text{Minimizar } TC = \sum_{i=1}^n d_i \cdot V_i \cdot R$$

Donde:

TC = Costo total de transporte

d_i = Distancia entre la instalación candidata y el punto i

V_i = Volumen transportado hacia o desde el punto i

R = Tasa de costo de transporte por unidad de distancia

n = Número de puntos en la red

Procedimiento de cálculo

El método del centro de gravedad se implementa mediante un proceso iterativo que converge hacia la ubicación óptima. Los pasos fundamentales son:

- 1. Recopilación de información:** Se identifican las coordenadas geográficas (latitud y longitud) de cada punto de demanda o suministro, así como los volúmenes correspondientes.
- 2. Cálculo de coordenadas iniciales:** Se determina un punto de partida utilizando un promedio ponderado de las coordenadas:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad , \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

- 3. Cálculo de distancias:** Para la ubicación actual, se calculan las distancias euclidianas o rectilíneas hacia cada punto.
- 4. Actualización de coordenadas:** Se determinan nuevas coordenadas utilizando fórmulas que incorporan las distancias calculadas:

$$x_{k+1} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{V_i \cdot x_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{V_i}{d_i}} \quad , \quad y_{k+1} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{V_i \cdot y_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{V_i}{d_i}}$$

- 5. Iteración:** Se repiten los pasos 3 y 4 hasta que la variación entre iteraciones sea inferior a un umbral predefinido, indicando convergencia.

Ventajas y limitaciones

Ventajas	Limitaciones
Simplicidad conceptual y facilidad de implementación	Supone costos de transporte lineales con la distancia
No requiere software especializado	No considera restricciones de capacidad
Proporciona una ubicación teórica óptima	Asume espacio continuo, ignorando disponibilidad real de terrenos
Considera simultáneamente todos los puntos de la red	No incorpora costos fijos de instalación
Útil para problemas de localización única	Limitado para problemas con múltiples instalaciones

Aplicaciones prácticas

El método del centro de gravedad resulta especialmente útil en las siguientes situaciones:

- Localización de un único centro de distribución que abastece a múltiples puntos de demanda
- Determinación de ubicaciones iniciales para análisis más detallados
- Evaluación preliminar en proyectos de factibilidad
- Contextos donde los costos de transporte dominan otras consideraciones

Un ejemplo clásico es la localización de centros de distribución para empresas de consumo masivo que abastecen a cadenas de supermercados. El método permite identificar la zona geográfica donde se minimizan los costos de transporte agregados, sirviendo como punto de partida para la búsqueda de terrenos específicos.

2.1.3 Modelos matemáticos de optimización

Los modelos matemáticos de optimización representan una evolución significativa respecto al método del centro de gravedad, al permitir la incorporación de múltiples restricciones realistas y la optimización simultánea de redes completas con varias instalaciones.

Programación lineal entera mixta

La formulación más común para problemas de localización de instalaciones es la programación lineal entera mixta (MILP, por sus siglas en inglés). Esta metodología permite representar problemas complejos donde algunas variables (como la decisión de abrir o no una instalación) son discretas, mientras que otras (como los flujos de transporte) son continuas.

Variantes de modelos de localización

Modelo	Características	Aplicación típica
P-median	Minimiza la distancia promedio ponderada entre instalaciones y puntos de demanda, sin considerar costos fijos	Localización de instalaciones con presupuesto limitado
P-center	Minimiza la distancia máxima entre cualquier punto de demanda y la instalación más cercana	Servicios de emergencia, donde la equidad es prioritaria
Cobertura de conjuntos	Minimiza el número de instalaciones necesarias para cubrir todos los puntos de demanda dentro de una distancia máxima	Redes de distribución con niveles de servicio garantizados
Cobertura máxima	Maximiza la demanda cubierta dentro de una distancia máxima, con un número fijo de instalaciones	Selección de ubicaciones con presupuesto definido
Asignación capacitada	Incorpora restricciones de capacidad en las instalaciones	Contextos donde las instalaciones tienen límites operativos

Métodos de solución

La resolución de modelos matemáticos de optimización puede abordarse mediante diversas técnicas:

- **Solvers comerciales:** Software especializado como Gurobi, CPLEX o Xpress que implementan algoritmos de *branch-and-bound* y *branch-and-cut* para encontrar soluciones óptimas o casi óptimas.
- **Heurísticas y metaheurísticas:** Algoritmos como búsqueda tabú, recocido simulado, algoritmos genéticos o colonia de hormigas, utilizados cuando el problema es demasiado grande para ser resuelto hasta optimalidad.

- **Algoritmos de aproximación:** Métodos que garantizan soluciones dentro de un factor conocido de la optimalidad, útiles para problemas de gran escala.

Aplicaciones prácticas

Los modelos matemáticos de optimización son ampliamente utilizados en proyectos de planeación de redes logísticas, particularmente cuando:

- Se requiere determinar simultáneamente el número y la ubicación de múltiples instalaciones.
- Existen costos fijos significativos asociados a la apertura de instalaciones
- Las instalaciones tienen restricciones de capacidad.
- Se manejan múltiples niveles en la cadena de suministro (proveedores, CEDIS y clientes).
- Se considera la posibilidad de cierre o reconfiguración de instalaciones existentes.

2.1.4 Análisis de redes logísticas

El análisis de redes logísticas representa un enfoque más amplio que trasciende la localización pura, integrando consideraciones de flujos de materiales, niveles de inventario, costos de transporte y políticas de servicio en una visión sistémica.

Concepto de red logística

Una red logística está compuesta por nodos (proveedores, plantas, centros de distribución, clientes) y arcos (conexiones de transporte) que definen los flujos de materiales e información. El análisis de redes busca optimizar la configuración global considerando las interdependencias entre todos los elementos.

Dimensiones del análisis de redes

Dimensión	Descripción	Variables consideradas
Estructura	Número y ubicación de nodos	Cantidad de CEDIS, ubicaciones geográficas y jerarquías

Dimensión	Descripción	Variables consideradas
Flujos	Volúmenes de producto entre nodos	Asignaciones proveedor-CEDIS, CEDIS-cliente y rutas
Inventarios	Niveles de existencias en cada nodo	Inventarios de ciclo, de seguridad, en tránsito
Transporte	Modos y frecuencias de envío	Costos por modo, consolidación y rutas
Servicio	Tiempos de respuesta y cobertura	Distancias máximas, tiempos de tránsito y niveles de disponibilidad

Metodologías de análisis de redes

1. Modelado de optimización de red

Esta metodología extiende los modelos matemáticos de localización para incorporar múltiples niveles de la cadena de suministro, múltiples productos y consideraciones de inventario. Las formulaciones típicas incluyen:

- Modelos de flujo de red *multicommodity*
- Problemas de diseño de red con consideraciones de inventario
- Optimización estocástica para demanda incierta

2. Simulación de eventos discretos

La simulación permite evaluar el desempeño de configuraciones de red bajo condiciones dinámicas y estocásticas. A diferencia de los modelos de optimización, la simulación no encuentra la solución óptima, pero permite:

- Evaluar el comportamiento de la red ante variabilidad en la demanda.
- Analizar escenarios "*what-if*" con alta complejidad.
- Incorporar reglas de operación realistas.
- Visualizar dinámicas de inventario y niveles de servicio.

3. Herramientas de geointeligencia y sistemas de información geográfica (SIG)

Las plataformas SIG han revolucionado el análisis de redes logísticas al permitir:

- Visualización espacial de demanda, proveedores y competencia
- Análisis de tiempos de viaje basados en redes viales reales, no distancias euclidianas

- Evaluación de cobertura territorial con isócronas
- Integración de capas de información (zonas industriales, restricciones regulatorias y costos de suelo)

Proceso de análisis de redes

El análisis de redes logísticas se desarrolla típicamente a través de las siguientes etapas:

- 1. Caracterización de la situación actual:** Documentación de la configuración existente, incluyendo ubicaciones, flujos, costos y niveles de servicio.
- 2. Recopilación y validación de datos:** Consolidación de información sobre demanda (volúmenes, ubicaciones y patrones), oferta (proveedores y plantas), costos de transporte, costos de almacenamiento y requerimientos de servicio.
- 3. Modelado y calibración:** Construcción de modelos matemáticos o de simulación que representen fielmente la red actual, con validación contra datos históricos.
- 4. Generación de escenarios:** Definición de alternativas de configuración a evaluar, que pueden incluir cambios en número de CEDIS, ubicaciones, niveles de automatización o políticas de inventario.
- 5. Evaluación y comparación:** Análisis cuantitativo de cada escenario en términos de costos totales, niveles de servicio, inversiones requeridas y métricas de sostenibilidad.
- 6. Análisis de sensibilidad:** Evaluación de la robustez de las soluciones ante variaciones en supuestos clave (demanda, costos de transporte y tasas de interés).
- 7. Recomendaciones:** Definición de la configuración óptima y desarrollo de planes de implementación.

2.1.5 Enfoques integrados y metodologías híbridas

En la práctica profesional contemporánea, la localización de centros de distribución rara vez se aborda mediante una única metodología. Los proyectos exitosos combinan múltiples enfoques en una estrategia híbrida que aprovecha las fortalezas de cada técnica.

Secuencia típica de análisis

1. **Preselección mediante modelos de optimización:** Utilización de modelos matemáticos para identificar regiones o zonas óptimas, reduciendo el universo de alternativas de miles de puntos a decenas de opciones.
2. **Análisis de redes y simulación:** Evaluación de las alternativas preseleccionadas mediante modelos de simulación que incorporan dinámicas de inventario, variabilidad de la demanda y políticas operativas.
3. **Evaluación georreferenciada:** Aplicación de herramientas SIG para refinar la selección, considerando restricciones específicas de suelo, infraestructura y normativa.
4. **Análisis de factores cualitativos:** Evaluación de aspectos no cuantificables en los modelos (clima de negocios, disponibilidad de talento, calidad de vida) mediante metodologías de análisis multicriterio.
5. **Validación financiera:** Desarrollo de modelos financieros que integran costos de inversión (terreno, construcción y equipamiento) con costos operativos proyectados para cada alternativa.

Caso ilustrativo: localización de una red de CEDIS para una cadena de retail

Una empresa de retail con operaciones nacionales requería optimizar su red de centros de distribución. El proceso metodológico incluyó:

1. **Fase I:** Optimización estratégica: Se desarrolló un modelo MILP con 350 puntos de demanda, 28 ubicaciones candidatas y cinco niveles de capacidad por instalación. El modelo evaluó escenarios con 1 a 12 CEDIS, identificando la configuración óptima en cuatro centros regionales.
2. **Fase II:** Simulación de operación: Cada configuración preseleccionada fue modelada en un simulador de eventos discretos que incorporó patrones de demanda por hora, estacionalidad, tiempos de tránsito variables y políticas de reaprovisionamiento.
3. **Fase III:** Georreferenciación: Para cada región identificada, se analizaron múltiples sitios candidatos utilizando herramientas SIG, evaluando tiempos de acceso reales, disponibilidad de servicios, costos de terreno y restricciones de uso de suelo.

4. Fase IV: Análisis multicriterio: Se aplicó el método Analytic Hierarchy Process (AHP) para ponderar criterios financieros (60 %), operativos (25 %) y estratégicos (15 %), seleccionando el sitio óptimo en cada región.

2.1.6 Tendencias en metodologías de localización

La evolución tecnológica y los cambios en el entorno empresarial están transformando las metodologías de localización de instalaciones:

Optimización dinámica

Los modelos tradicionales asumen condiciones estáticas. Las nuevas metodologías incorporan consideraciones dinámicas que permiten planificar redes evolutivas, con apertura y cierre de instalaciones a lo largo del tiempo en función de cambios en la demanda, adquisiciones empresariales o expiración de contratos de arrendamiento.

Incorporación de sostenibilidad

Las metodologías contemporáneas integran criterios de sostenibilidad como:

- Emisiones de carbono asociadas al transporte
- Huella ambiental de la construcción y operación
- Impacto en comunidades locales
- Resiliencia ante eventos climáticos extremos

Machine learning y análisis predictivo

Algoritmos de aprendizaje automático están siendo utilizados para:

- Predecir patrones de demanda con mayor precisión
- Identificar correlaciones entre ubicaciones y desempeño
- Acelerar la resolución de problemas de optimización complejos

Plataformas de Digital Supply Chain Twin

El desarrollo de gemelos digitales de la cadena de suministro permite:

- Visualización en tiempo real de la red
- Evaluación continua de alternativas de reconfiguración
- Simulación de escenarios de disrupción
- Optimización dinámica ante cambios en condiciones operativas

Las metodologías para la localización de instalaciones han evolucionado desde el simple método del centro de gravedad hasta sofisticados sistemas de optimización matemática, simulación y geointeligencia. Cada enfoque ofrece ventajas particulares y responde a distintos tipos de problemas: el centro de gravedad resulta adecuado para aproximaciones iniciales en problemas de una sola instalación; los modelos matemáticos permiten optimizar redes completas con múltiples restricciones; el análisis de redes integra consideraciones dinámicas y de inventario que trascienden la localización pura.

El profesional de la logística debe desarrollar competencias en la selección y aplicación de estas metodologías, comprendiendo sus fundamentos teóricos, sus supuestos subyacentes y sus limitaciones. La práctica contemporánea demuestra que los proyectos más exitosos combinan múltiples enfoques en secuencias integradas que aprovechan las fortalezas de cada técnica, complementando el rigor cuantitativo con el análisis de factores cualitativos y la validación financiera.

La correcta aplicación de estas metodologías constituye un factor crítico de éxito en los proyectos de centros de distribución, toda vez que las decisiones de localización determinan el marco de posibilidades para todas las fases subsiguientes del desarrollo. Un centro bien localizado, seleccionado mediante metodologías rigurosas, se convierte en un activo estratégico que impulsa la competitividad de la organización; una mala decisión de localización, por el contrario, impone restricciones estructurales que difícilmente pueden ser compensadas con eficiencias operativas posteriores.

Capítulo 5

Factores críticos: cercanía a proveedores, clientes, infraestructura vial y zonas de abasto

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006567>



2.2 Factores críticos: cercanía a proveedores, clientes, infraestructura vial y zonas de abasto

La selección de la ubicación óptima para un centro de distribución trasciende los modelos matemáticos y las técnicas de optimización. En la práctica profesional, la decisión final debe incorporar un conjunto de factores críticos que determinan la viabilidad, eficiencia y sostenibilidad de la instalación a lo largo de su vida útil. Estos factores abarcan desde la proximidad a los actores clave de la cadena de suministro hasta las condiciones de infraestructura que facilitan o restringen las operaciones logísticas, pasando por las características específicas de las zonas de abasto que definen el entorno en el que se insertará el CEDIS.

Esta sección aborda de manera integral los principales factores críticos que deben ser evaluados en el proceso de localización de centros de distribución, proporcionando al profesional de la logística un marco analítico para la toma de decisiones informadas.

2.2.1 Cercanía a proveedores

La proximidad a las fuentes de abastecimiento constituye un factor determinante en la localización de centros de distribución, particularmente cuando los costos de transporte de entrada (*inbound logistics*) representan una proporción significativa del costo logístico total o cuando los productos requieren condiciones especiales de manejo.

Impacto en los costos de transporte de entrada

La cercanía a los proveedores incide directamente en los costos de flete de aprovisionamiento. Cuando los centros de distribución se ubican en proximidad a las principales fuentes de abastecimiento, es posible:

- Reducir las distancias recorridas por las unidades de transporte, disminuyendo el costo por kilómetro.

- Utilizar modos de transporte más económicos al consolidar cargas completas (*full truckload*) en lugar de envíos parciales (*less than truckload*).
- Minimizar los tiempos de tránsito, lo que se traduce en menores inventarios en tránsito y mayor capacidad de respuesta ante variaciones en la demanda.

Consideraciones según la naturaleza de los productos

Tipo de producto	Implicaciones para la cercanía a proveedores
Productos perecederos	Alta sensibilidad al tiempo; requiere proximidad para garantizar frescura y reducir mermas
Productos de alto valor	Balance entre costo de inventario en tránsito y costo de transporte; evaluación de trade-offs financieros
Productos voluminosos de bajo valor	Alta sensibilidad al costo de transporte; la cercanía a proveedores es crítica para la viabilidad económica
Materias primas para producción	Sincronización con ritmos de producción; la proximidad reduce necesidad de inventarios de seguridad
Productos importados	La cercanía a puertos o fronteras puede ser más relevante que la proximidad a proveedores internacionales

Concentración geográfica de proveedores

En muchas industrias, los proveedores tienden a concentrarse en regiones específicas debido a ventajas comparativas, economías de aglomeración o desarrollo histórico. La identificación de estos clusters productivos permite:

- Ubicar centros de distribución en zonas que maximicen la consolidación de cargas de múltiples proveedores.
- Reducir el número de transportistas necesarios para cubrir las rutas de aprovisionamiento.
- Establecer programas de recolección sincronizada (*milk runs*) que optimicen la utilización de la capacidad de transporte.

Estrategias de localización en relación con proveedores

Existen dos aproximaciones estratégicas fundamentales en función de la estructura de la cadena de suministro:

- **Modelo pull (orientado al mercado):** El centro de distribución se ubica cerca de los mercados de consumo, y los proveedores envían

productos hacia esta ubicación. Este modelo prioriza los tiempos de respuesta al cliente sobre los costos de aprovisionamiento.

- **Modelo push (orientado al abastecimiento):** El centro de distribución se ubica cerca de las fuentes de producción, actuando como punto de consolidación antes de la distribución a los mercados. Este modelo prioriza las economías de escala en el transporte de entrada.

En la práctica, muchas organizaciones adoptan configuraciones híbridas donde ciertos productos siguen un modelo push y otros un modelo pull, dependiendo de sus características de rotación, valor y sensibilidad al tiempo.

2.2.2 Cercanía a clientes

La proximidad a los mercados de consumo constituye quizás el factor más estudiado en la literatura de localización de instalaciones, dado su impacto directo en el nivel de servicio y en los costos de transporte de salida (*out-bound logistics*).

Impacto en los niveles de servicio

La cercanía a los clientes determina la capacidad de la organización para cumplir con los compromisos de tiempo de entrega. En entornos donde la velocidad de respuesta constituye una ventaja competitiva, la ubicación de los centros de distribución se convierte en un elemento estratégico de primer orden.

Los principales efectos de la proximidad a los clientes sobre el nivel de servicio incluyen:

- **Reducción de tiempos de tránsito:** Menores distancias implican tiempos de entrega más cortos, permitiendo cumplir con ventanas de servicio más exigentes (entregas en el mismo día o en menos de 24 horas).
- **Mayor confiabilidad:** Distancias más cortas reducen la exposición a contingencias en carretera, mejorando la consistencia de los tiempos de entrega.
- **Capacidad de respuesta ante urgencias:** La proximidad permite atender pedidos de emergencia o reposiciones urgentes con tiempos de respuesta competitivos.

- **Flexibilidad en la programación:** Facilita la implementación de esquemas de entregas en ventanas horarias específicas requeridas por los clientes.

Impacto en los costos de transporte de salida

Los costos de distribución hacia los clientes representan, en muchas organizaciones, la partida más significativa del costo logístico total. La ubicación de los centros de distribución incide en estos costos de múltiples maneras:

- **Reducción de distancias recorridas:** Menores distancias medias de transporte disminuyen el costo por kilómetro y el consumo de combustible.
- **Optimización de rutas:** La proximidad a los clientes permite diseñar rutas de entrega más eficientes, con mayor densidad de entregas por kilómetro recorrido.
- **Utilización de modos de transporte:** Distancias más cortas pueden posibilitar el uso de modos de transporte más económicos o la reducción de la frecuencia de envíos.
- **Consolidación de cargas:** La cercanía a concentraciones de clientes facilita la consolidación de pedidos en cargas completas, reduciendo el costo unitario de transporte.

Segmentación de clientes por requerimientos de servicio

No todos los clientes tienen las mismas necesidades en términos de tiempo de entrega o frecuencia de abastecimiento. La segmentación de la base de clientes permite definir estrategias diferenciadas de localización:

Segmento de clientes	Características	Implicaciones de localización
Clientes estratégicos	Alto volumen, alta criticidad	Puede justificar centros de distribución dedicados o ubicaciones prioritarias
Clientes con alta sensibilidad al tiempo	Entregas en ventanas reducidas, productos perecederos	Requiere máxima proximidad; puede justificar centros urbanos o <i>microfulfillment</i>

Segmento de clientes	Características	Implicaciones de localización
Clientes con baja sensibilidad al tiempo	Pedidos programados con anticipación	Puede ser atendido desde centros regionales o nacionales con menor densidad
Clientes finales (e-commerce)	Alta fragmentación, expectativas de entrega rápida	Requiere redes multicapa con centros de última milla cercanos a zonas urbanas

Concentración geográfica de la demanda

La identificación de los patrones de concentración de la demanda es fundamental para la localización de centros de distribución. El análisis de la distribución geográfica de los clientes permite:

- Identificar clusters de alta densidad de consumo que justifican la instalación de centros dedicados.
- Determinar el número óptimo de instalaciones necesario para cubrir el territorio con niveles de servicio consistentes.
- Establecer zonas de exclusión o asignación para cada centro de distribución.

2.2.3 Infraestructura vial

La infraestructura vial constituye el soporte físico sobre el cual se desarrollan las operaciones logísticas. La calidad, capacidad y conectividad de la red de carreteras y vías de acceso determinan en gran medida la eficiencia operativa de un centro de distribución.

Accesibilidad y conectividad

Un centro de distribución debe estar ubicado en un punto con alta conectividad a la red vial principal, garantizando:

- **Acceso directo a carreteras de alto orden:** La proximidad a autopistas, carreteras federales o estatales principales reduce los tiempos de acceso y evita congestionamientos en vías secundarias.
- **Múltiples rutas alternativas:** La existencia de vías alternativas permite mantener la operación ante contingencias como accidentes, cierres por mantenimiento o condiciones climáticas adversas.

- **Conectividad multimodal:** La cercanía a puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias o cruces fronterizos amplía las opciones logísticas y puede generar ventajas competitivas significativas.

Características de la infraestructura vial a evaluar

Factor	Aspectos a considerar	Impacto en la operación
Capacidad vial	Número de carriles, niveles de congestión, horas pico	Afecta tiempos de acceso y confiabilidad de programaciones
Condiciones de la superficie	Estado del pavimento, señalización, iluminación	Incide en seguridad, mantenimiento de vehículos y tiempos de tránsito
Restricciones de circulación	Horarios restringidos para vehículos de carga, límites de peso o dimensiones	Limita ventanas operativas y puede requerir flotas especializadas
Peajes y costos asociados	Número y costo de casetas de peaje en rutas principales	Impacta directamente el costo de transporte
Infraestructura complementaria	Áreas de descanso, estaciones de servicio, talleres	Afecta la operación de flotas propias o de transportistas externos

Infraestructura para vehículos de carga

La ubicación de un centro de distribución debe considerar las condiciones específicas para la circulación de vehículos de carga, incluyendo:

- **Vías de acceso con capacidad para vehículos articulados:** Ancho de carriles, radios de giro en intersecciones y altura de puentes o pasos a desnivel.
- **Disponibilidad de zonas de maniobra:** Espacios suficientes en las inmediaciones del CEDIS para el ingreso y salida de unidades de transporte sin afectar la circulación general.
- **Regulaciones municipales:** Restricciones de circulación para vehículos de carga en zonas urbanas, horarios permitidos y requisitos de permisos especiales.

Desarrollos industriales y parques logísticos

La concentración de centros de distribución en parques industriales o parques logísticos especializados ofrece ventajas significativas en términos de infraestructura:

- Infraestructura vial interna diseñada para operaciones de carga pesada.
- Servicios comunes que reducen costos de operación (vigilancia perimetral, energía eléctrica de alta tensión y fibra óptica).
- Economías de aglomeración que atraen servicios especializados (transportistas, mantenimiento de equipos y suministros).
- Gestión de permisos y licencias simplificada por tratarse de zonas destinadas a uso industrial.

2.2.4 Zonas de abasto

El concepto de zona de abasto se refiere al territorio geográfico desde el cual el centro de distribución capta sus productos (zona de abastecimiento) y al cual los distribuye (zona de mercado). El análisis de estas zonas resulta fundamental para la selección de la ubicación óptima.

Definición y delimitación de zonas de abasto

Las zonas de abasto se definen con base en criterios logísticos, comerciales y operativos que determinan el alcance geográfico de cada centro de distribución. La delimitación adecuada de estas zonas permite:

- Establecer tiempos de respuesta consistentes para todos los clientes atendidos.
- Optimizar la asignación de inventarios entre centros de distribución.
- Definir políticas de transporte diferenciadas por zona (frecuencia de envíos, modos de transporte y consolidación).

Factores para la delimitación de zonas de abasto

Factor	Descripción	Método de análisis
Tiempos de tránsito	Distancias máximas en tiempo de viaje desde el CEDIS	Isócronas sobre red vial real
Densidad de clientes	Concentración de demanda en el territorio	Mapas de calor por código postal o municipio
Características geográficas	Accidentes geográficos que afectan la conectividad	Análisis de barreras naturales (montañas y cuerpos de agua)
Infraestructura de transporte	Disponibilidad y calidad de vías de comunicación	Evaluación de conectividad regional
Competencia y cobertura	Presencia de centros de distribución de la competencia	Análisis de posicionamiento competitivo

Zonas de abastecimiento

Además de las zonas de mercado, la localización de un centro de distribución debe considerar la configuración de sus zonas de abastecimiento, que comprenden:

- **Proveedores locales:** Aquellos ubicados en la misma región que el CEDIS, que pueden realizar entregas en frecuencias elevadas con bajos costos de transporte.
- **Proveedores regionales:** Ubicados en un radio medio (200-500 km), que requieren programaciones de recolección consolidadas.
- **Proveedores nacionales e internacionales:** Distancias mayores que pueden implicar modos de transporte alternativos (ferrocarril y marítimo) y puntos de entrada específicos (puertos y fronteras).

Estrategias de ubicación en relación con zonas de abasto

Estrategia	Descripción	Aplicación típica
Centralización	Un único centro de distribución atiende todo el territorio nacional	Productos de alto valor, baja rotación, o cuando los costos de inventario dominan sobre los de transporte
Regionalización	Múltiples centros atienden zonas geográficas definidas, con inventarios segmentados	Productos de consumo masivo, alta rotación, o cuando los tiempos de respuesta son críticos
Microsegmentación	Centros urbanos de pequeña escala para última milla	E-commerce con entregas en el mismo día o en menos de 24 horas
Hibridación	Combinación de estrategias según tipo de producto o canal	Operaciones omnicanal que atienden simultáneamente tiendas físicas y comercio electrónico

2.2.5 Interacción entre factores críticos

La complejidad del proceso de localización radica en que los factores críticos no operan de manera aislada, sino que interactúan entre sí, generando trade-offs que deben ser evaluados cuidadosamente.

Trade-off entre cercanía a proveedores y cercanía a clientes

Uno de los dilemas fundamentales en la localización de centros de distribución es la tensión entre la proximidad a las fuentes de abastecimiento y la proximidad a los mercados de consumo. Este trade-off se resuelve considerando:

- La proporción del costo logístico atribuible al transporte de entrada versus transporte de salida.
- La sensibilidad al tiempo de los productos en cada dirección de flujo.
- La capacidad de consolidación de cargas en cada extremo de la cadena.
- La posibilidad de establecer configuraciones de red con múltiples niveles que atiendan ambos objetivos.

Interacción con infraestructura vial

La infraestructura vial modula la relación entre distancias geográficas y tiempos efectivos de transporte. Un sitio con excelente conectividad puede ser preferible a otro geográficamente más cercano, pero con accesos deficientes.

Consideración de zonas de abasto en la evaluación de alternativas

Las zonas de abasto no son estáticas; evolucionan con el crecimiento de la empresa, cambios en los patrones de consumo, expansión geográfica y transformaciones en la infraestructura de transporte. La localización seleccionada debe ofrecer flexibilidad para adaptarse a estas dinámicas.

2.2.6 Metodología para la evaluación de factores críticos

La evaluación sistemática de los factores críticos requiere una metodología estructurada que permita comparar alternativas de localización de manera objetiva.

Modelo de evaluación multicriterio

Dada la naturaleza cualitativa de muchos factores críticos, el análisis multicriterio constituye una herramienta adecuada para su evaluación. El proceso incluye:

1. **Identificación de criterios:** Definición de los factores relevantes para el proyecto específico, adaptando la lista general a las particularidades del negocio.
2. **Asignación de ponderaciones:** Determinación de la importancia relativa de cada criterio mediante metodologías como el Analytic Hierarchy Process (AHP) o la asignación directa con validación de *stakeholders*.
3. **Evaluación de alternativas:** Calificación de cada sitio candidato en cada criterio, utilizando escalas estandarizadas (ejemplo, 1-5) con descripciones operativas de cada nivel.
4. **Cálculo de puntajes ponderados:** Agregación de calificaciones por criterio según las ponderaciones establecidas.
5. **Análisis de sensibilidad:** Evaluación de cómo cambian los resultados ante variaciones en las ponderaciones.

Matriz de evaluación de factores críticos

Factor crítico	Subfactor	Indicador	Método de evaluación
Cercanía a proveedores	Distancia promedio ponderada	Kilómetros $\times$ volumen	Modelo de optimización
	Concentración de proveedores	% de volumen dentro de radio definido	Análisis SIG
	Frecuencia de aprovisionamiento	Número de viajes/día	Simulación de flotas
Cercanía a clientes	Distancia promedio ponderada	Kilómetros $\times$ demanda	Modelo de optimización
	Tiempo de respuesta máximo	Horas al cliente más lejano	Análisis de isócronas
	Densidad de clientes	Cientes/km ²	Análisis de concentración
Infraestructura vial	Acceso a red primaria	Tiempo a la autopista más cercana	Análisis SIG
	Capacidad vial	Nivel de servicio (horas pico)	Estudios de tráfico
	Conectividad multimodal	Distancia a puerto/aeropuerto/ferrocarril	Análisis de distancias

Factor crítico	Subfactor	Indicador	Método de evaluación
Zonas de abasto	Cobertura territorial	0% de demanda dentro de tiempo de servicio	Análisis de isócronas
	Potencial de crecimiento	Proyección de demanda por zona	Modelos de pronóstico
	Flexibilidad de reconfiguración	Capacidad de ajuste de zonas	Evaluación cualitativa

Para ilustrar la aplicación integrada de los factores críticos, se presenta el caso de una empresa de comercio electrónico que requiere seleccionar la ubicación para un centro de distribución que atienda la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Contexto del proyecto

- **Volumen:** 15 000 pedidos diarios.
- **Productos:** electrónicos de consumo, talla pequeña, alto valor.
- **Nivel de servicio:** entregas en 24 horas en zona metropolitana.
- **Restricción:** inversión máxima para terreno y construcción.

Evaluación de alternativas

Criterio	Ponderación	Alternativa A (Centro industrial Tultitlán)	Alternativa B (Parque logístico Cuautitlán)	Alternativa C (Zona industrial Iztapalapa)
Cercanía a proveedores (distancia a zona de importación)	15 %	8/10 (cercanía a aeropuerto)	9/10 (excelente acceso)	6/10 (acceso con gestionado)
Cercanía a clientes (cobertura zona metropolitana)	30 %	7/10 (buena cobertura norte)	7/10 (buena cobertura norte)	9/10 (cobertura central)
Infraestructura vial	25 %	8/10 (accesos adecuados)	9/10 (excelente conectividad)	5/10 (congestión severa)

Criterio	Ponderación	Alternativa A (Centro industrial Tultitlán)	Alternativa B (Parque logístico Cuautitlán)	Alternativa C (Zona industrial Iztapalapa)
Disponibilidad de terreno	15 %	7/10 (espacio limitado)	8/10 (buena disponibilidad)	4/10 (escasa disponibilidad)
Costo de terreno y construcción	10 %	7/10 (costo medio)	6/10 (costo alto)	8/10 (costo bajo)
Disponibilidad de talento	5 %	8/10 (buena oferta)	7/10 (oferta media)	8/10 (buena oferta)
Puntaje ponderado	100 %	7.55	7.90	7.10

Análisis de resultados

La Alternativa B (Parque logístico Cuautitlán) obtuvo el puntaje más alto debido a su excelente infraestructura vial, cercanía al aeropuerto para la recepción de importaciones y disponibilidad de terrenos con características adecuadas. Aunque su costo es superior a otras alternativas, los beneficios en términos de confiabilidad operativa y capacidad de expansión justifican la inversión.

Lecciones del caso

- La ponderación de criterios debe reflejar las prioridades estratégicas del negocio (en este caso, la cercanía a clientes e infraestructura vial fueron los factores más relevantes).
- Las alternativas con mejor infraestructura pueden compensar desventajas en costo o distancia geográfica.
- La evaluación integrada de factores múltiples evita decisiones sesgadas por un solo criterio.

La localización de un centro de distribución constituye una decisión estratégica que trasciende los modelos matemáticos de optimización para incorporar un conjunto de factores críticos que determinan la viabilidad y

sostenibilidad de la instalación. La cercanía a proveedores impacta los costos de aprovisionamiento y la capacidad de respuesta ante variaciones en el suministro; la cercanía a clientes determina los niveles de servicio y los costos de distribución; la infraestructura vial condiciona la eficiencia operativa y la confiabilidad de los flujos de transporte; y las zonas de abasto definen el alcance territorial y las posibilidades de crecimiento de la operación.

El profesional de la logística debe desarrollar la capacidad de evaluar estos factores de manera integrada, reconociendo sus interacciones y trade-offs. Ningún factor por sí mismo determina la bondad de una ubicación; la decisión óptima surge del equilibrio ponderado entre todos ellos, alineado con la estrategia empresarial y las particularidades del modelo de negocio.

La metodología de evaluación multicriterio presentada en esta sección proporciona un marco estructurado para abordar esta complejidad, permitiendo comparar alternativas de manera objetiva y comunicar las recomendaciones a los niveles directivos de la organización. La correcta aplicación de estos criterios, complementada con los modelos cuantitativos de optimización abordados en la sección anterior, constituye la base para decisiones de localización que generan valor sostenible a lo largo de la vida útil del centro de distribución.

Capítulo 6

Análisis de mercado, proyecciones de demanda y capacidad

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006574>



2.3 Análisis de mercado, proyecciones de demanda y capacidad

La planeación de un centro de distribución no puede sustentarse exclusivamente en las condiciones presentes del negocio. Por el contrario, requiere una visión prospectiva que anticipe la evolución del mercado, los cambios en los patrones de consumo y las transformaciones en la estructura de la demanda. El análisis de mercado, las proyecciones de demanda y la determinación de la capacidad constituyen el trípode sobre el cual se definen las dimensiones, configuraciones y capacidades operativas de un CEDIS.

Esta sección aborda de manera integral los métodos y herramientas para comprender el contexto de mercado, proyectar la demanda futura y dimensionar la capacidad requerida, elementos fundamentales para garantizar que la inversión en infraestructura logística responda adecuadamente a las necesidades del negocio a lo largo de su vida útil.

2.3.1 Fundamentos del análisis de mercado en la planeación logística

El análisis de mercado aplicado a la planeación de centros de distribución trasciende el estudio tradicional de consumidores y competidores para enfocarse en la comprensión de los patrones espaciales, temporales y estructurales de la demanda que el CEDIS deberá atender.

Dimensiones del análisis de mercado

Dimensión	Descripción	Implicaciones para el CEDIS
Geográfica	Distribución espacial de la demanda actual y potencial	Define la localización óptima y las zonas de abasto
Temporal	Patrones de estacionalidad, tendencias y ciclos	Determina requerimientos de capacidad pico y flexibilidad operativa

Dimensión	Descripción	Implicaciones para el CEDIS
Estructural	Composición de la demanda por producto, canal y segmento de cliente	Define requerimientos de almacenamiento, manejo y tecnología
Competitiva	Estrategias y capacidades logísticas de competidores	Establece benchmarks de servicio y eficiencia
Regulatoria	Normativas que afectan la distribución (restricciones vehiculares y horarios)	Limita ventanas operativas y requerimientos de flota

Objetivos del análisis de mercado en la planeación de CEDIS

- **Dimensionamiento preciso:** Establecer la capacidad necesaria en función de los volúmenes esperados, evitando tanto la subinversión (que genera restricciones operativas) como la sobreinversión (que deteriora el retorno de capital).
- **Configuración adecuada:** Definir el tipo de instalación, nivel de automatización y procesos operativos que mejor se adapten a las características de la demanda.
- **Localización óptima:** Determinar la ubicación que minimiza los costos de transporte y maximiza los niveles de servicio, considerando la distribución geográfica de la demanda.
- **Flexibilidad planificada:** Incorporar capacidad de adaptación para responder a cambios en los patrones de consumo y expansiones futuras.

2.3.2 Metodologías para el análisis de la demanda actual

Antes de proyectar el futuro, resulta indispensable comprender a profundidad la estructura y comportamiento de la demanda actual. Las siguientes metodologías permiten caracterizar la demanda que atenderá el centro de distribución.

Análisis de datos históricos de ventas

El punto de partida para cualquier ejercicio de planeación es el análisis de los registros históricos de ventas o despachos. Este análisis debe considerar:

- **Volúmenes totales:** Tendencia de crecimiento, patrones estacionales y variabilidad.

- **Composición por SKU:** Identificación de productos de alta, media y baja rotación (clasificación ABC).
- **Composición por cliente/segmento:** Concentración de la demanda en segmentos específicos.
- **Composición geográfica:** Distribución territorial de los volúmenes.

Segmentación de productos (análisis ABC)

La clasificación de productos según su contribución al volumen o valor constituye una herramienta fundamental para el diseño de centros de distribución. El análisis ABC clasifica los SKU en tres categorías:

Categoría	Características	Implicaciones para el CEDIS
A (10-20 % de SKU, 70-80 % de volumen/valor)	Alta rotación, alta contribución	Ubicación en zonas de fácil acceso (<i>pick faces</i>), sistemas de <i>picking</i> eficientes, inventarios optimizados
B (20-30 % de SKU, 15-20 % de volumen/valor)	Rotación media, contribución media	Zonas intermedias, equilibrio entre accesibilidad y densidad de almacenamiento
C (50-70 % de SKU, 5-10 % de volumen/valor)	Baja rotación, baja contribución	Almacenamiento en zonas de alta densidad (<i>racks</i> profundos, verticalidad), mayor tolerancia a tiempos de acceso

Análisis de estacionalidad y patrones temporales

La demanda no es uniforme en el tiempo. El análisis de estacionalidad permite identificar:

- **Patrones anuales:** Meses de mayor y menor demanda, efectos de temporadas (fin de año, *back to school* y promociones).
- **Patrones semanales:** Días de mayor actividad, variabilidad intrasemanal.
- **Patrones diarios:** Horas pico de recepción y despacho, distribución de la actividad operativa.

La identificación de estos patrones es fundamental para dimensionar la capacidad de manera que pueda atender los picos sin incurrir en sobrecapacidad durante los periodos valle.

Análisis de la base de clientes

La caracterización de los clientes permite comprender las exigencias de servicio que deberá cumplir el CEDIS:

- **Segmentación por volumen:** Identificación de clientes estratégicos con alta concentración de demanda.
- **Segmentación por requerimientos de servicio:** Tiempos de entrega, frecuencias, ventanas horarias y requisitos de empaque.
- **Segmentación por ubicación geográfica:** Distribución territorial que determina rutas de distribución.

2.3.3 Métodos de proyección de demanda

La proyección de la demanda constituye uno de los ejercicios más críticos y complejos en la planeación de centros de distribución. Los errores en esta etapa pueden tener consecuencias significativas: una subestimación genera instalaciones que rápidamente se vuelven insuficientes; una sobreestimación implica inversiones ociosas que deterioran el retorno de capital.

Clasificación de métodos de proyección

Tipo de método	Características	Aplicación	Limitaciones
Cualitativos	Basados en juicio de expertos y consenso de mercado	Escenarios inciertos, nuevos productos, mercados emergentes	Subjetividad y sesgos cognitivos
Series temporales	Extrapolación de patrones históricos	Demanda estable con tendencias identificables	Asume continuidad de patrones
Causales	Relación con variables independientes	Demanda influenciada por factores externos (PIB y población)	Requiere identificación y proyección de variables explicativas
Simulación	Modelos estocásticos, escenarios múltiples	Entornos de alta incertidumbre	Alta complejidad computacional

Métodos de series temporales

Los métodos de series temporales son los más utilizados en la práctica profesional debido a su simplicidad y a la disponibilidad de datos históricos en la mayoría de las organizaciones.

Promedios móviles

El método de promedios móviles suaviza las fluctuaciones aleatorias de la demanda utilizando el promedio de los períodos recientes.

$$Y_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-n+1}}{n}$$

Donde:

$\hat{Y}_{t+1}$ = Demanda proyectada para el período $t+1$

Y_t = Demanda observada en el período t

n = Número de períodos incluidos en el promedio

Suavizamiento exponencial

El suavizamiento exponencial asigna ponderaciones decrecientes a las observaciones históricas, lo que da mayor peso a los datos más recientes.

$$Y^{t+1} = \alpha Y_t + (1-\alpha) Y^t$$

Donde:

α = Constante de suavizamiento ($0 < \alpha < 1$)

$\hat{Y}_t$ = Demanda proyectada para el período t

Descomposición de series temporales

Este método descompone la demanda en sus componentes fundamentales:

Componente	Descripción	Método de identificación
Tendencia (T)	Movimiento de largo plazo	Regresión lineal, filtros de suavizamiento
Estacionalidad (S)	Patrones recurrentes intraanuales	Índices estacionales y factores de ajuste
Ciclo (C)	Fluctuaciones plurianuales	Análisis de ciclos económicos
Irregular (I)	Variaciones aleatorias no sistemáticas	Análisis de residuos

La proyección se construye recombinando los componentes identificados:

$$\hat{Y} = T \times S \times C \times I(\text{modelo multiplicativo})$$

$$\hat{Y} = T + S + C + I(\text{modelo aditivo})$$

Métodos causales (econométricos)

Los métodos causales establecen relaciones funcionales entre la demanda y variables independientes que la explican. Un modelo típico puede expresarse como:

$$D_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \dots + \beta_k X_{kt} + \varepsilon_t$$

Donde:

D_t = Demanda en el período t

X_{it} = Variables explicativas (PIB, población, precios y gasto en marketing)

β_i = Coeficientes estimados mediante regresión

ε_t = Error aleatorio

Variables explicativas comúnmente utilizadas en proyecciones para centros de distribución:

Variable	Aplicación	Fuente de datos
Producto Interno Bruto (PIB)	Demanda agregada en mercados maduros	Institutos nacionales de estadística
Población y densidad demográfica	Productos de consumo básico	Censos de población y proyecciones demográficas
Ingreso disponible per cápita	Productos discrecionales, categorías premium	Encuestas de ingresos y gastos
Índice de producción industrial	Insumos industriales y B2B	Cámaras industriales e institutos de estadística
Penetración de comercio electrónico	Demandas omnicanal y entregas a domicilio	Estudios sectoriales y asociaciones de comercio

Métodos de simulación y análisis de escenarios

Cuando la incertidumbre es elevada o las condiciones futuras pueden tomar caminos radicalmente diferentes, el análisis de escenarios constituye una herramienta valiosa. Este enfoque implica:

- 1. Identificación de incertidumbres clave:** Factores cuyo desarrollo futuro es incierto, pero impacta significativamente la demanda (por ejemplo: tasa de adopción de comercio electrónico, cambios regulatorios, comportamiento de la competencia).
- 2. Construcción de escenarios:** Desarrollo de narrativas coherentes que describen futuros alternativos (optimista, pesimista y más probable).
- 3. Cuantificación de escenarios:** Estimación de la demanda bajo cada escenario utilizando modelos causales adaptados.
- 4. Evaluación de robustez:** Análisis del desempeño de diferentes configuraciones del CEDIS bajo los distintos escenarios.

2.3.4 Determinación de la capacidad requerida

Una vez proyectada la demanda futura, se procede a determinar la capacidad que debe tener el centro de distribución para atenderla. La capacidad se define en múltiples dimensiones que deben ser coordinadas.

Dimensiones de la capacidad de un CEDIS

Dimensión	Descripción	Unidades de medida
Capacidad de almacenamiento	Espacio disponible para resguardar inventarios	Posiciones de tarima, metros cúbicos, metros cuadrados
Capacidad de manejo	Volumen de producto que puede procesarse	Unidades/hora, tarimas/hora, pedidos/hora
Capacidad de recepción	Volumen de entrada que puede procesarse	Unidades/día, tarimas/día, contenedores/día
Capacidad de despacho	Volumen de salida que puede procesarse	Unidades/día, pedidos/día, rutas/día
Capacidad de valor agregado	Volumen de operaciones de personalización	Unidades/hora, kits/hora

Relación entre demanda proyectada y capacidad requerida

La capacidad requerida no es simplemente la demanda proyectada convertida a unidades de almacenamiento o manejo. Deben considerarse:

- **Factor de pico:** La capacidad debe dimensionarse para atender los períodos de máxima demanda, no el promedio. El factor de pico se define como:

$$FP = \frac{Demanda_{promedio}}{Demanda_{pico}}$$

En sectores con alta estacionalidad, este factor puede alcanzar valores de 1.5 a 3.0.

- **Factor de utilización:** La capacidad efectiva debe considerar que no toda la capacidad instalada estará disponible en todo momento debido a mantenimientos, cambios de formato, ajustes operativos:

$$Capacidad_{requerida} = \frac{Demanda_{pico}}{Factor_{utilización}}$$

- **Factor de crecimiento:** La capacidad debe incorporar un margen para el crecimiento esperado durante la vida útil de la instalación, evitando inversiones recurrentes en expansiones a corto plazo.

Metodología para el dimensionamiento de capacidad de almacenamiento

El dimensionamiento de la capacidad de almacenamiento sigue una secuencia estructurada:

1. **Proyección de inventario promedio:** Estimación del inventario esperado en unidades físicas (piezas, cajas y tarimas) con base en la demanda proyectada y las políticas de inventario.
2. **Determinación de inventario máximo:** Cálculo del inventario máximo esperado que considera la variabilidad de la demanda, los tiempos de reaprovisionamiento y los inventarios de seguridad:

$$Inv_{max} = Inv_{promedio} + Inv_{seguridad} + Buffer_{estacional}$$

3. **Conversión a unidades de almacenamiento:** Transformación del inventario en unidades de producto a requerimientos de posiciones de almacenamiento (tarimas, estantes y ubicaciones) según las características de empaque y almacenamiento.
4. **Aplicación de factores de densidad:** Ajuste por la densidad de almacenamiento según el sistema seleccionado (esteras selectivas, *racks* profundos y sistemas compactos).
5. **Incorporación de áreas de apoyo:** Adición de espacio para pasillos, áreas de recepción, zonas de picking, áreas de empaque, oficinas y servicios.

Metodología para el dimensionamiento de capacidad de manejo

La capacidad de manejo se determina con base en los flujos esperados de producto a través de la instalación:

1. **Proyección de flujos de entrada:** Estimación del volumen de recepción diario promedio y máximo, considerando patrones de aprovisionamiento y concentración de entregas.
2. **Proyección de flujos de salida:** Estimación del volumen de despacho diario promedio y máximo, considerando patrones de pedidos y concentración de envíos.
3. **Determinación de operaciones unitarias:** Cálculo del número de transacciones requeridas por tipo de operación (recepciones, ubicaciones, *picks*, empaques y despachos).
4. **Cálculo de requerimientos de personal y equipos:** Estimación de recursos necesarios para procesar los flujos proyectados con base en estándares de productividad.
5. **Dimensionamiento de áreas funcionales:** Determinación del espacio requerido para cada área operativa (recepción, almacenamiento, picking, empaque y despacho) según los flujos proyectados.

2.3.5 Consideraciones sobre incertidumbre y riesgo

Las proyecciones de demanda son inherentemente inciertas. La planeación de centros de distribución debe incorporar estrategias para gestionar esta incertidumbre.

Fuentes de incertidumbre en las proyecciones

Fuente	Descripción	Estrategia de mitigación
Volatilidad del mercado	Cambios rápidos en las condiciones económicas	Diseño modular, capacidad ampliable en fases
Cambios en el comportamiento del consumidor	Transformaciones en patrones de compra	Flexibilidad en configuración, sistemas adaptables
Disrupciones tecnológicas	Nuevos canales, automatización disruptiva	Infraestructura preparada para incorporar nuevas tecnologías
Movimientos competitivos	Entrada de nuevos competidores, cambios de estrategia	Capacidad de ajuste en niveles de servicio y cobertura
Cambios regulatorios	Nuevas normativas sobre circulación, emisiones, uso de suelo	Terrenos con flexibilidad normativa, opciones de reconversión

Estrategias para la gestión de incertidumbre

- **Diseño modular:** Desarrollo de la instalación por fases, donde la capacidad inicial se complementa con expansiones programadas que se activan según el crecimiento real de la demanda.
- **Flexibilidad operativa:** Incorporación de sistemas y procesos que permiten ajustar la capacidad de manejo sin inversiones estructurales significativas (por ejemplo: equipos móviles, personal temporal, turnos adicionales).
- **Planificación de contingencias:** Desarrollo de planes alternativos para escenarios de demanda superior o inferior a lo proyectado, incluyendo opciones de almacenamiento externo, subcontratación de operaciones o cesión de capacidad.
- **Monitoreo continuo:** Establecimiento de indicadores de alerta temprana que permitan detectar desviaciones respecto a las proyecciones y activar planes de ajuste.

2.3.6 Integración con la planeación estratégica

El análisis de mercado, las proyecciones de demanda y la determinación de capacidad no son ejercicios aislados, sino que deben integrarse plenamente con la planeación estratégica de la organización.

Alineación con objetivos estratégicos

Objetivo estratégico	Implicaciones para proyecciones y capacidad
Crecimiento en participación de mercado	Escenarios de demanda más agresivos y capacidad con mayor holgura
Expansión geográfica	Proyecciones por región y capacidad distribuida en red
Diferenciación por servicio	Mayor capacidad para manejar picos e inventarios de seguridad elevados
Liderazgo en costos	Capacidad ajustada, alta utilización y baja holgura
Omnicanalidad	Capacidad híbrida y flexibilidad para atender múltiples flujos

Proyecciones en contexto de red

Cuando la organización opera o planea operar múltiples centros de distribución, las proyecciones deben considerar la asignación de demanda entre instalaciones. Esto implica:

- Definir zonas de abasto para cada CEDIS.
- Establecer políticas de asignación (distancia mínima, niveles de servicio y restricciones de capacidad).
- Modelar escenarios de rebalanceo ante cambios en la configuración de la red.
- Considerar sinergias y complementariedades entre instalaciones.

2.3.7 Herramientas y sistemas para el análisis de demanda y capacidad

La práctica profesional contemporánea utiliza diversas herramientas tecnológicas para soportar los procesos de análisis de mercado, proyección de demanda y determinación de capacidad.

Plataformas de inteligencia de negocios (BI)

Herramientas como Power BI, Tableau o Qlik permiten:

- Visualización interactiva de patrones de demanda geográfica
- Análisis dinámico de estacionalidad y tendencias
- Segmentación avanzada de clientes y productos
- Dashboards para monitoreo continuo de desviaciones

Software de pronóstico especializado

Plataformas como SAP IBP, Oracle Demantra, o soluciones específicas de pronóstico ofrecen:

- Algoritmos automatizados de selección de modelos
- Procesos colaborativos de pronóstico (SyOP)
- Integración con datos de mercado externos
- Capacidad de modelado de escenarios

Herramientas de modelado de capacidad

Software especializado permite simular los requerimientos de capacidad del CEDIS:

- Layout y dimensionamiento de almacenes (AutoCAD, SketchUp con *plugins* especializados).
- Simulación de flujos y recursos (AnyLogic, FlexSim y Arena).
- Modelado de inventarios y niveles de servicio (herramientas de planificación de inventarios).

El análisis de mercado, las proyecciones de demanda y la determinación de capacidad constituyen pilares fundamentales en la planeación de centros de distribución. Estos procesos permiten que la inversión en infraestructura logística responda adecuadamente a las necesidades reales del negocio, equilibrando la capacidad de atender los picos de demanda con la eficiencia en la utilización de los recursos.

La complejidad de estos análisis radica en la necesidad de integrar múltiples dimensiones: la comprensión de los patrones actuales de demanda, la anticipación de cambios futuros en el mercado, la consideración de la incertidumbre inherente a cualquier proyección y la traducción de los volúmenes

proyectados en requerimientos específicos de capacidad de almacenamiento y manejo. El profesional de la logística debe desarrollar competencias tanto en las metodologías cuantitativas de proyección como en la interpretación estratégica de los resultados, reconociendo que las decisiones de capacidad tienen implicaciones de largo plazo sobre la competitividad de la organización. Un centro de distribución bien dimensionado —ni sobrecapacitado ni subdimensionado— constituye un activo estratégico que impulsa la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta; una mala decisión en esta materia, por el contrario, genera restricciones estructurales o inversiones ociosas que comprometen la rentabilidad del negocio.

La integración de estos análisis con los procesos de planeación estratégica de la organización, particularmente con los ciclos de Sales and Operations Planning (SyOP), asegura que las decisiones sobre capacidad logística estén alineadas con los objetivos comerciales y financieros de la empresa, y que la inversión en centros de distribución se convierta en un habilitador del crecimiento sostenible.

III

Diseño funcional y arquitectónico

Introducción

Una vez definida la localización estratégica del centro de distribución, determinada su capacidad requerida y establecida la configuración de la red logística en la que se insertará, el siguiente desafío consiste en traducir los requerimientos operativos en una instalación física que permita ejecutar los procesos de manera eficiente, segura y sostenible. Esta tarea corresponde al diseño funcional y arquitectónico, una disciplina que integra aspectos de ingeniería industrial, arquitectura, manejo de materiales, tecnología de la información y gestión operativa para concebir espacios que faciliten el flujo de productos, información y personas.

El diseño de un centro de distribución no es un ejercicio meramente estético o constructivo. Por el contrario, constituye una actividad de ingeniería de alta complejidad donde cada decisión —desde la orientación de los muelles de carga hasta la selección del sistema de estanterías, desde la ubicación de los pasillos principales hasta la definición de las áreas de valor agregado— tiene implicaciones directas sobre la productividad operativa, los costos de manejo, la seguridad del personal, la capacidad de escalamiento futuro y la rentabilidad del negocio. Un error en la fase de diseño puede generar ineficiencias que se arrastrarán durante toda la vida útil de la instalación, frecuentemente superior a los veinte años.

Este capítulo aborda de manera integral los principios, metodologías y buenas prácticas que rigen el diseño funcional y arquitectónico de centros de distribución, estructurándose en torno a los elementos fundamentales que todo profesional de la logística debe dominar para liderar proyectos de esta naturaleza.

En primer término, se desarrolla el layout interno del CEDIS, explorando la disposición de las zonas funcionales que conforman la instalación: recepción, almacenamiento, picking, empaque, despacho, áreas de valor agregado y espacios de soporte. Se analizan los principios de flujo continuo, la minimización de desplazamientos, la segregación de procesos y la flexibilidad operativa como criterios rectores del diseño.

A continuación, se aborda el diseño de flujos de materiales y personas, examinando cómo la circulación de productos, equipos y colaboradores debe ser planificada para evitar cruces innecesarios, minimizar los riesgos de seguridad y maximizar la eficiencia. Se presentan los distintos patrones de flujo (en línea, en L, en U, entre otros) y su aplicabilidad según las características operativas de cada instalación.

Posteriormente, se analizan los sistemas de almacenamiento, presentando las principales alternativas disponibles en el mercado: estanterías selectivas, racks de doble profundidad, sistemas *drive-in* y *drive-thru*, estanterías push-back, sistemas de lanzadera (*shuttle*), carruseles verticales y horizontales, sistemas verticales de almacenamiento (VLM) y soluciones automatizadas como los sistemas de almacenamiento y recuperación automatizados (AS/RS). Para cada sistema, se examinan sus características técnicas, aplicaciones típicas, ventajas y limitaciones, así como los criterios para su selección en función de la rotación de productos, la densidad de almacenamiento requerida y el perfil de la demanda.

Finalmente, se aborda la normatividad aplicable al diseño de centros de distribución, un aspecto crítico que con frecuencia se subestima en los proyectos, pero que puede determinar la viabilidad misma de la instalación. Se analizan las regulaciones relacionadas con uso de suelo, construcción, protección civil, seguridad industrial, accesibilidad universal, sostenibilidad ambiental y requisitos específicos según la naturaleza de los productos almacenados (alimentos, productos farmacéuticos, materiales peligrosos, entre otros).

El diseño funcional y arquitectónico representa el punto de convergencia entre la planeación estratégica y la realidad física del centro de distribución. En esta fase, los volúmenes proyectados, las características de los productos, los niveles de servicio comprometidos y las restricciones presupuestales se traducen en planos, especificaciones técnicas y presupuestos que guiarán la construcción y equipamiento de la instalación. Un diseño bien concebido no solo facilita la operación diaria, sino que proporciona la flexibilidad necesaria para adaptarse a cambios en los modelos de negocio, en las tecnologías disponibles y en los patrones de demanda que inevitablemente ocurrirán a lo largo de la vida útil del CEDIS.

Al concluir este capítulo, el lector habrá desarrollado las competencias necesarias para participar activamente en el proceso de diseño funcional y

arquitectónico de centros de distribución, comprendiendo los principios que rigen la disposición de espacios, la selección de sistemas de almacenamiento y el cumplimiento de las normativas aplicables. Este conocimiento constituye una base indispensable para abordar los capítulos posteriores, donde se profundizará en la selección tecnológica, los sistemas de información y los procesos de instalación y puesta en marcha que darán vida a la instalación diseñada.

Capítulo 7

***Layout* interno: zonas de recepción, almacenamiento, *picking*, empaque y embarque**

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006581>



3.1 Layout interno: zonas de recepción, almacenamiento, picking, empaque y embarque

El diseño del *layout* interno constituye el corazón del desarrollo funcional de un centro de distribución. En esta etapa, los requerimientos operativos, los volúmenes proyectados y las características de los productos se traducen en una disposición espacial que define la eficiencia, seguridad y flexibilidad de la instalación. Un *layout* bien concebido minimiza los desplazamientos, reduce los tiempos de ciclo, optimiza la utilización del espacio y facilita la gestión de los flujos de materiales y personas.

Esta sección aborda de manera integral la configuración de las zonas funcionales que conforman un centro de distribución, analizando sus características, requerimientos y relaciones, así como los principios de diseño que garantizan su integración armónica.

3.1.1 Principios fundamentales del diseño de *layout*

Antes de abordar el diseño de cada zona específica, resulta necesario comprender los principios que rigen la disposición global de las instalaciones.

Principio del flujo continuo

El flujo de materiales debe ser continuo, sin retrocesos ni cruces innecesarios. Idealmente, el producto ingresa por un extremo de la instalación y avanza secuencialmente a través de las diferentes zonas operativas hasta salir por el extremo opuesto. Este principio reduce los desplazamientos, minimiza los riesgos de congestión y facilita la gestión operativa.

Principio de mínima distancia recorrida

Cada operación de manejo de materiales implica un costo. El diseño debe minimizar las distancias que recorren los productos, los equipos y las personas. Esto se logra ubicando las zonas que mantienen relaciones funcionales intensivas en proximidad y diseñando recorridos directos.

Principio de segregación de flujos

Los flujos de materiales deben segregarse según sus características para evitar interferencias. Es recomendable separar:

- Flujos de entrada y salida.
- Productos con requisitos especiales de temperatura o manejo.
- Áreas de alto tránsito de personal de áreas automatizadas.
- Flujos de productos terminados de áreas de devoluciones.

Principio de flexibilidad

El diseño debe anticipar cambios en los patrones de demanda, en la mezcla de productos y en las tecnologías operativas. Esto se logra mediante:

- Dimensionamiento modular que permita expansiones futuras.
- Espacios polivalentes que puedan reconfigurarse según necesidades cambiantes.
- Sistemas de almacenamiento y manejo que permitan ajustes sin inversiones estructurales mayores.

Principio de seguridad

El layout debe diseñarse considerando la seguridad de los colaboradores como prioridad. Esto implica:

- Pasillos con dimensiones adecuadas para la circulación de equipos.
- Separación de áreas peatonales y de tránsito de montacargas.
- Rutas de evacuación claramente definidas.
- Zonas de almacenamiento con alturas controladas según los equipos utilizados.

3.1.2 Configuraciones básicas de layout

La disposición global de las zonas funcionales puede adoptar distintas configuraciones, cada una con ventajas y limitaciones específicas.

Layout en línea (I-shaped)

En esta configuración, las zonas de recepción y embarque se ubican en extremos opuestos de la instalación, con las áreas de almacenamiento y picking en el centro. El flujo de materiales es lineal y unidireccional.

Ventajas	Limitaciones
Flujo continuo sin cruces	Mayor longitud de recorrido para productos que requieren almacenamiento temporal
Separación clara de entrada y salida	Requiere terreno alargado
Facilidad para expansión longitudinal	Puede generar largos desplazamientos en instalaciones extensas

Layout en U (U-shaped)

Las zonas de recepción y embarque se ubican en el mismo extremo de la instalación, compartiendo los muelles de carga. El flujo de materiales describe una forma de U, con el almacenamiento en la parte central.

Ventajas	Limitaciones
Máxima flexibilidad para compartir recursos entre recepción y embarque	Riesgo de cruce de flujos si no se gestiona adecuadamente
Menor longitud de recorrido para cross-docking	Mayor congestión en el área de muelles durante horas pico
Eficiente para instalaciones con espacio limitado	Requiere estricta disciplina operativa

Layout en L (L-shaped)

Las zonas de recepción y embarque se ubican en lados perpendiculares de la instalación. Esta configuración es común cuando existen restricciones de terreno o cuando se requiere separar físicamente los flujos por razones de seguridad o normativas.

Ventajas	Limitaciones
Aprovechamiento de terrenos irregulares	Flujo con cambio de dirección, potencialmente menos eficiente
Separación natural de flujos de entrada y salida	Mayor distancia entre zonas de almacenamiento y los extremos
Facilidad para segregar productos con requisitos especiales	Puede generar áreas subutilizadas en el vértice de la L

Layout en T (T-shaped)

Variante del layout en L, donde la recepción se ubica en un extremo del eje vertical y el embarque se distribuye en ambos brazos del eje horizontal. Es común en instalaciones de gran escala con alta rotación de productos.

Ventajas	Limitaciones
Permite múltiples áreas de embarque para diferentes canales	Mayor complejidad en la gestión de flujos
Distribución eficiente para operaciones omnicanal	Requiere sistemas de información robustos para asignación de destinos
Facilidad para segregar despachos por tipo de cliente	Mayor superficie construida en relación con el área de almacenamiento

3.1.3 Zona de recepción

La zona de recepción constituye el punto de entrada de todos los productos al centro de distribución. Su diseño determina la capacidad de procesamiento de los flujos de entrada y establece la base para la eficiencia de todas las operaciones subsiguientes.

Componentes de la zona de recepción

Componente	Descripción	Consideraciones de diseño
Muelles de recepción	Bahías de carga donde los vehículos realizan el descenso de mercancía	Número determinado por volumen de recepción, tiempo de maniobra y ventanas de programación
Plataforma de maniobras	Área exterior para el posicionamiento y circulación de vehículos	Dimensionamiento según flota simultánea; profundidad mínima de 30-40 metros
Área de consolidación	Espacio para el descargue y separación de cargas consolidadas	Dimensionada para manejar el volumen de llegadas en horas pico
Área de recepción documental	Espacio para verificación de documentos, etiquetado y registro en sistema	Proximidad a muelles; iluminación adecuada para lectura de documentos

Componente	Descripción	Consideraciones de diseño
Área de inspección de calidad	Zona dedicada a la verificación de condiciones de productos recibidos	Ubicación adyacente a muelles; espacio para segregación de productos no conformes
Área de pre-paración para almacenamiento	Espacio para etiquetado, empaque secundario o reconfiguración de unidades de carga	Dimensionada según volumen de productos que requieren preparación

Dimensionamiento de muelles de recepción

El número de muelles de recepción se determina con base en:

- 1. Volumen diario promedio de recepción:** Expresado en unidades de carga (tarimas, cajas y contenedores).
- 2. Tiempo promedio de descarga por vehículo:** Incluye maniobra, descargue y procesamiento documental.
- 3. Ventana de recepción:** Horas disponibles diarias para la recepción.
- 4. Factor de concentración:** Proporción del volumen total que llega en horas pico.

La fórmula básica para el dimensionamiento es:

$$N = \frac{H \times f}{V \times t}$$

Donde:

N = Número de muelles requeridos

V = Número de vehículos a recibir en el período de mayor concentración

t = Tiempo promedio de ocupación del muelle por vehículo (horas)

H = Horas disponibles en el período de concentración

f = Factor de utilización (usualmente 0.75-0.85)

Área de maniobras exteriores

El área de maniobras debe dimensionarse para permitir el posicionamiento seguro de los vehículos en los muelles, así como el flujo de entrada y salida sin congestión. Los parámetros típicos incluyen:

- **Profundidad mínima:** 30 metros para maniobras de tráileres de 53 pies.
- **Ancho por muelle:** 3.5 a 4.0 metros para maniobras estándar.
- **Carriles de circulación:** Mínimo 12 metros para circulación de dos vías.
- **Área de espera:** Espacio adicional para vehículos en espera de asignación de muelle.

3.1.4 Zona de almacenamiento

La zona de almacenamiento constituye el corazón físico del centro de distribución, donde se resguardan los inventarios hasta que son requeridos para atender los pedidos de los clientes.

Clasificación de áreas de almacenamiento

Tipo de área	Características	Aplicación
Almacenamiento masivo (<i>bulk</i>)	Productos almacenados en unidades de carga completas (tarimas)	Productos de alta rotación, grandes volúmenes por SKU
Almacenamiento de picking (<i>pick faces</i>)	Ubicaciones accesibles para extracción de unidades individuales	Productos de media y alta rotación; interfaz con operaciones de <i>picking</i>
Almacenamiento de reserva	Ubicaciones de alta densidad para inventario no inmediato	Productos de baja rotación; inventario de seguridad
Almacenamiento especializado	Áreas con condiciones específicas (temperatura controlada y atmósfera modificada)	Productos perecederos, farmacéuticos y químicos
Almacenamiento de productos voluminosos	Áreas con mayor altura libre o sistemas especializados	Productos de gran tamaño y baja rotación

Zonificación por rotación (ABC)

La clasificación de productos por su rotación determina su ubicación dentro del almacén:

- **Zona A (alta rotación):** Ubicada en las áreas de fácil acceso, cercanas a las zonas de picking y despacho. Representa el 70-80 % del movimiento con 10-20 % de los SKU.

- **Zona B (media rotación):** Ubicada en áreas de acceso medio, generalmente en niveles intermedios de estanterías o en zonas secundarias.
- **Zona C (baja rotación):** Ubicada en áreas de acceso restringido, niveles superiores de estanterías o sistemas de almacenamiento de alta densidad.

Configuración de pasillos

La configuración de los pasillos de almacenamiento impacta directamente la densidad de almacenamiento y la eficiencia de los desplazamientos.

Tipo de pasillo	Ancho típico	Aplicación	Ventajas
Pasillos convencionales	3.0-3.5 m	Montacargas contrapesados	Flexibilidad, bajo costo de equipos
Pasillos estrechos	2.5-3.0 m	Montacargas de pasillo estrecho (<i>reach trucks</i>)	Mayor densidad, buena flexibilidad
Pasillos muy estrechos (VNA)	1.6-2.0 m	Montacargas de pasillo muy estrecho con guía	Máxima densidad, requiere inversión especializada
Pasillos para sistemas automatizados	Variable según sistema	AS/RS, sistemas de lanzadera	Alta densidad, operación automatizada

Altura de almacenamiento

La altura de almacenamiento determina la capacidad volumétrica de la instalación y está condicionada por:

- **Altura libre del edificio:** Determinada por la construcción, generalmente entre 8 y 12 metros en naves industriales estándar, hasta 30 metros en instalaciones especializadas.
- **Capacidad de los equipos:** Altura de elevación de los montacargas seleccionados.
- **Tipo de sistema de almacenamiento:** Los sistemas de alta densidad pueden aprovechar mayores alturas.
- **Normativa de seguridad:** Restricciones por tipo de construcción, sistemas contra incendios y estabilidad de cargas.

3.1.5 Zona de picking

La zona de picking es el área donde se conforman los pedidos de los clientes, extrayendo productos de las ubicaciones de almacenamiento para integrar las órdenes solicitadas. Esta zona suele ser el cuello de botella crítico en muchos centros de distribución, por lo que su diseño merece atención especial.

Configuraciones de zonas de picking

Configuración	Descripción	Aplicación
<i>Picking por zona</i>	El almacén se divide en zonas; cada operador pickea en una zona específica; los pedidos se consolidan al final	Grandes almacenes con alta variedad de SKU
<i>Picking por oleada (wave picking)</i>	Los pedidos se agrupan en oleadas y se procesan simultáneamente	Operaciones con alta fragmentación de pedidos
<i>Picking por lote (batch picking)</i>	Un operador pickea múltiples pedidos simultáneamente, consolidando después	Alta densidad de pedidos con pocas líneas por orden
<i>Picking continuo</i>	El operador recorre el almacén, pickeando pedido por pedido	Bajo volumen de pedidos, alta variedad
<i>Zona de picking dinámico</i>	Las ubicaciones de <i>picking</i> se reabastecen desde almacenamiento de reserva según demanda	Productos de alta rotación, espacios optimizados

Diseño de estaciones de picking

Las estaciones de picking deben diseñarse considerando:

- **Ergonomía:** Alturas de trabajo adecuadas (zona dorada entre la cintura y los hombros para *picking* manual), superficies antideslizantes e iluminación adecuada.
- **Eficiencia:** Disposición de productos y contenedores de pedido que minimicen desplazamientos.
- **Tecnología:** Integración de sistemas de apoyo (*pick-to-light*, *voice picking*, terminales RF).
- **Seguridad:** Espacio suficiente para maniobras, protecciones en bordes de estanterías.

Sistemas de apoyo al picking

Sistema	Descripción	Beneficios
Pick-to-light	Luces y displays indican ubicación y cantidad a pickear	Alta precisión, reducción de tiempos de búsqueda
Voice picking	Instrucciones por voz a través de auriculares	Manos libres y alta productividad en operadores experimentados
RF scanning	Lectura de códigos de barras con terminales móviles	Trazabilidad y validación en tiempo real
Put-to-light	Sistema de luces que indica en qué contenedor de pedido colocar cada producto	Alta precisión en consolidación de pedidos fragmentados
Robots de picking	Sistemas automatizados de extracción de productos	Alta productividad y operación continua

3.1.6 Zona de empaque y valor agregado

La zona de empaque y el valor agregado son las áreas donde los productos pickeados se preparan para su envío al cliente final, lo que incorpora en muchos casos operaciones de personalización, etiquetado o presentación especial.

Componentes de la zona de empaque

Componente	Descripción	Consideraciones de diseño
Estaciones de empaque	Puestos donde se acondicionan los productos para su envío	Diseño ergonómico; abastecimiento de materiales de empaque integrado
Área de suministros	Almacenamiento de cajas, sobres, materiales de relleno y etiquetas	Ubicación central para abastecimiento eficiente a estaciones
Área de etiquetado	Espacio para aplicación de etiquetas de envío y códigos de seguimiento	Integración con sistemas de pesaje y medición dimensional

Componente	Descripción	Consideraciones de diseño
Área de kitting	Espacio para ensamble de kits o combinación de productos	Dimensionada según complejidad y volumen de operaciones de valor agregado
Área de empaque especializado	Estaciones para productos con requerimientos específicos (refrigerados, frágiles y peligrosos)	Segregación según requisitos y equipamiento especializado

Operaciones de valor agregado

Los centros de distribución modernos incorporan cada vez más operaciones de valor agregado (VAS) que trascienden el simple almacenamiento y distribución:

- **Etiquetado personalizado:** Aplicación de etiquetas con precios, promociones o información específica por cliente.
- **Reempaque:** Conversión de empaques de mayor escala a unidades de consumo.
- **Kitting:** Ensamble de múltiples productos en un kit promocional o funcional.
- **Personalización:** Impresión de mensajes, grabado o configuración según especificaciones del cliente.
- **Inspección y control de calidad:** Verificación de productos antes del envío final.
- **Preparación para exhibición:** Acondicionamiento de productos para presentación en punto de venta.

Diseño de estaciones de empaque

Las estaciones de empaque deben considerar:

- **Flujo de materiales:** Suministro de productos desde *picking* hacia empaque y de empaque hacia embarque.
- **Suministro de insumos:** Almacenamiento y distribución eficiente de cajas, sobres y materiales de relleno.
- **Integración tecnológica:** Balanzas, impresoras de etiquetas, escáneres y sistemas de medición dimensional.
- **Flexibilidad:** Capacidad para manejar diferentes formatos de empaque según tipo de producto o canal.

3.1.7 Zona de embarque

La zona de embarque constituye el punto de salida de los productos hacia los clientes. Su diseño debe garantizar que los productos correctos sean cargados en los vehículos adecuados en el momento preciso.

Componentes de la zona de embarque

Componente	Descripción	Consideraciones de diseño
Muelles de embarque	Bahías de carga para el ascenso de productos a vehículos	Número determinado por volumen de despacho, ventanas de entrega
Área de consolidación por ruta	Espacio donde los productos se agrupan por ruta de entrega	Dimensionada para acumular volumen previo a carga
Área de clasificación	Zona donde los productos se direccionan al muelle correspondiente	Sistemas de clasificación automáticos o manuales según volumen
Área de verificación	Espacio para revisión final de productos antes del embarque	Integración con sistemas de control de calidad
Área de documentación	Punto de generación y entrega de documentación de envío	Proximidad a muelles, conectividad con sistemas

Dimensionamiento de muelles de embarque

El número de muelles de embarque se determina con base en:

- 1. Volumen diario de despacho:** Expresado en unidades de carga (tarimas, pedidos y cajas).
- 2. Tiempo promedio de carga por vehículo:** Incluye maniobra, carga y procesamiento documental.
- 3. Ventana de despacho:** Horas disponibles diarias para el embarque, considerando restricciones de circulación.
- 4. Concentración de despachos:** Proporción del volumen total que sale en horas pico.

La fórmula básica para el dimensionamiento es análoga a la utilizada para recepción, con consideraciones adicionales por la programación de rutas y la necesidad de secuenciación.

Sistemas de asignación de muelles

La eficiencia del embarque depende en gran medida de la correcta asignación de muelles a los vehículos. Los sistemas de gestión pueden incluir:

- **Asignación estática:** Cada muelle tiene destinos o transportistas predefinidos
- **Asignación dinámica:** Los muelles se asignan según disponibilidad y secuencia de llegada
- **Programación de citas:** Los transportistas programan horarios de carga, reduciendo tiempos de espera
- **Sistemas de control de acceso:** Automatización de ingreso, asignación y registro de salida

3.1.8 Integración de zonas y flujos

El diseño integrado de las zonas funcionales debe garantizar la continuidad y fluidez de las operaciones. La siguiente tabla sintetiza las relaciones entre zonas y los criterios de proximidad recomendados:

Zona origen	Zona destino	Relación	Criterio de proximidad
Recepción	Almacenamiento	Alta	Ubicación adyacente; flujo directo
Almacenamiento	Picking	Muy alta	Zonas de almacenamiento de alta rotación contiguas a picking
Picking	Empaque	Muy alta	Flujo continuo; integración física
Empaque	Embarque	Alta	Conexión directa; sistemas de transporte entre zonas
Almacenamiento	Embarque (cross-docking)	Alta	Flujo directo sin almacenamiento intermedio
Devoluciones	Inspección	Media	Zona segregada; conexión con áreas de reproceso

3.1.9 Consideraciones especiales por tipo de operación

Centros de distribución para e-commerce

Los CEDIS de e-commerce presentan características particulares en su *layout*:

- Mayor proporción de espacio destinado a picking y empaque en relación con almacenamiento
- Zonas de *picking* diseñadas para operaciones por unidad (*each picking*)
- Áreas de empaque dimensionadas para alta fragmentación
- Zonas específicas para gestión de devoluciones (*reverse logistics*)
- Mayor densidad de estaciones de trabajo en relación con el área total

Centros de distribución omnicanal

Las operaciones omnicanal requieren layouts híbridos que atiendan tanto flujos hacia tiendas (B2B) como hacia consumidores finales (B2C):

- Zonas de picking diferenciadas por canal
- Capacidad de consolidación por ruta para tiendas y por paquetería para e-commerce
- Áreas de empaque con configuraciones duales
- Flujos segregados para evitar interferencias entre canales

Centros de distribución de productos perecederos

Los CEDIS de productos perecederos requieren consideraciones adicionales:

- Zonas con temperatura controlada (refrigeración, congelación)
- Flujos acelerados para minimizar tiempo fuera de cadena de frío
- Muelles con sistemas de nivelación y sellado para mantener temperatura
- Áreas de recepción y embarque con puertas rápidas y cortinas de aire

3.1.10 Metodología para el diseño de layout

La siguiente metodología estructura el proceso de diseño de layout:

- 1. Recopilación de requerimientos:** Identificación de volúmenes, flujos, características de productos y niveles de servicio.

2. **Determinación de relaciones funcionales:** Análisis de intensidad de flujos entre zonas mediante matriz de relación.
3. **Dimensionamiento de áreas:** Cálculo de requerimientos de espacio para cada zona funcional.
4. **Selección de configuración básica:** Elección entre configuraciones I, U, L y T según restricciones de terreno y flujos.
5. **Desarrollo de alternativas:** Generación de múltiples opciones de layout para evaluación comparativa.
6. **Simulación y evaluación:** Modelado de flujos, tiempos de ciclo y utilización de recursos.
7. **Selección y refinamiento:** Elección de la alternativa óptima y desarrollo de detalles constructivos.

El diseño del layout interno de un centro de distribución constituye un ejercicio de ingeniería que integra múltiples dimensiones: flujos de materiales, productividad operativa, seguridad, flexibilidad y sostenibilidad. La correcta configuración de las zonas de recepción, almacenamiento, *picking*, empaque y embarque, así como la integración armónica entre ellas, determina en gran medida la eficiencia con la que la instalación podrá operar a lo largo de su vida útil.

El profesional de la logística debe desarrollar competencias para aplicar los principios de diseño presentados en esta sección, adaptándolos a las particularidades de cada proyecto. No existe un layout único óptimo; la mejor solución es aquella que equilibra las restricciones de espacio, las características de los productos, los patrones de demanda, las tecnologías disponibles y las proyecciones de crecimiento futuro.

La metodología presentada proporciona un marco estructurado para abordar el proceso de diseño, desde la recopilación de requerimientos hasta la selección de la alternativa final. La aplicación rigurosa de esta metodología, complementada con herramientas de simulación y análisis de flujos, permite reducir significativamente los riesgos asociados a decisiones de diseño que tendrán impacto duradero en la competitividad de la organización.

Capítulo 8

Diseño de flujo de materiales y personas

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006598>



3.2 Diseño de flujos de materiales y personas

El diseño de flujos de materiales y personas constituye uno de los aspectos más críticos en la configuración de un centro de distribución. Mientras que el layout define la disposición estática de las zonas funcionales, el diseño de flujos determina la dinámica operativa: cómo se mueven los productos a través de la instalación, cómo circulan los colaboradores, cómo interactúan los equipos de manejo de materiales y cómo se organizan los recorridos para maximizar la eficiencia y minimizar los riesgos.

Un sistema de flujos bien diseñado reduce los tiempos de ciclo, disminuye los costos de manejo, mejora la seguridad operativa y facilita la gestión de la instalación. Por el contrario, flujos mal concebidos generan congestión, incrementan los desplazamientos improductivos, aumentan el riesgo de accidentes y limitan la capacidad de escalamiento de las operaciones.

Esta sección aborda de manera integral los principios, metodologías y buenas prácticas para el diseño de flujos de materiales y personas en centros de distribución, analizando las diferentes configuraciones de flujo, los patrones de circulación, las estrategias de segregación y las herramientas para su análisis y optimización.

3.2.1 Fundamentos del diseño de flujos

Concepto de flujo en el centro de distribución

El flujo en un centro de distribución se define como la trayectoria que siguen los materiales, las personas y los equipos a través de la instalación desde su ingreso hasta su salida. Este flujo puede caracterizarse por:

- **Direccionalidad:** Unidireccional, bidireccional o multidireccional.
- **Continuidad:** Continuo, intermitente o por lotes.
- **Volumen:** Alto, medio o bajo.
- **Variabilidad:** Constante, estacional o variable.
- **Complejidad:** Lineal, convergente, divergente o mixto.

Objetivos del diseño de flujos

Objetivo	Descripción	Indicadores de desempeño
Minimización de distancias	Reducir los recorridos totales de materiales y personas	Distancia total recorrida, tiempo de ciclo
Eliminación de cruces	Evitar intersecciones que generen congestión o riesgos	Número de cruces, tiempos de espera
Segregación de flujos	Separar flujos incompatibles por seguridad o eficiencia	Incidencia de incidentes, productividad por área
Continuidad operativa	Mantener flujos constantes sin interrupciones	Tiempo de inactividad, cuellos de botella
Flexibilidad	Adaptabilidad a cambios en volúmenes o patrones	Tiempo de reconfiguración, capacidad de ajuste
Trazabilidad	Capacidad de seguir la trayectoria de productos	Precisión de inventario, tiempo de localización

Principios fundamentales

- 1. Principio de flujo continuo:** El movimiento de materiales debe ser continuo, evitando paradas y acumulaciones intermedias que generan inventarios en proceso y aumentan los tiempos de ciclo.
- 2. Principio de mínima distancia:** El recorrido total de materiales debe ser el más corto posible, considerando tanto distancias horizontales como verticales.
- 3. Principio de flujo unidireccional:** Siempre que sea posible, los flujos deben ser unidireccionales para evitar cruces y facilitar la gestión del tránsito.
- 4. Principio de separación de flujos:** Los flujos de entrada y salida deben estar claramente separados para evitar contaminación cruzada y facilitar el control.
- 5. Principio de jerarquía de flujos:** Los flujos de mayor volumen deben tener prioridad en la asignación de rutas y en el diseño de pasillos.
- 6. Principio de separación persona-material:** Las rutas peatonales deben estar claramente diferenciadas de las rutas de equipos motorizados para garantizar la seguridad.

3.2.2 Tipologías de flujos de materiales

Flujo lineal

En esta configuración, los materiales ingresan por un extremo de la instalación y avanzan secuencialmente a través de las diferentes zonas operativas hasta salir por el extremo opuesto.

Características	Ventajas	Limitaciones
Trayectoria rectilínea	Sencillez operativa	Requiere terreno alargado
Zonas secuenciales	Fácil control de procesos	Puede generar largos recorridos
Flujo unidireccional	Mínimos cruces	Menor flexibilidad para <i>cross-docking</i>

Aplicaciones: Centros de distribución de productos con procesos secuenciales bien definidos, operaciones de manufactura esbelta aplicadas a logística.

Flujo en U

Los materiales ingresan y egresan por el mismo extremo de la instalación, describiendo una trayectoria en forma de U.

Características	Ventajas	Limitaciones
Recepción y embarque adyacentes	Compartimiento de recursos	Riesgo de cruce de flujos
Áreas centrales de almacenamiento	Eficiencia para <i>cross-docking</i>	Mayor congestión en extremo común
Retorno sobre misma zona	Flexibilidad operativa	Requiere disciplina en separación

Aplicaciones: Centros de distribución con alta proporción de *cross-docking*, operaciones donde se comparten recursos entre recepción y embarque.

Flujo en L

Los materiales ingresan por un lado de la instalación y egresan por un lado perpendicular.

Características	Ventajas	Limitaciones
Cambio de dirección	Aprovechamiento de terrenos irregulares	Punto de quiebre puede generar congestión
Separación natural de flujos	Facilidad para segregar productos especiales	Mayor distancia entre zonas extremas
Dos frentes operativos	Expansión modular en ambas direcciones	Complejidad en distribución de pasillos

Aplicaciones: Terrenos con formas irregulares, operaciones que requieren separación física de flujos por razones de seguridad o normativas.

Flujo circular o de bucle

Los materiales circulan a través de la instalación siguiendo una trayectoria cerrada.

Características	Ventajas	Limitaciones
Recorrido continuo	Facilidad para sistemas automatizados	Mayor distancia total recorrida
Múltiples puntos de acceso	Flexibilidad para expansión	Riesgo de congestión en puntos comunes
Posibilidad de flujo bidireccional	Adaptabilidad a diferentes procesos	Requiere sistemas de control más complejos

Aplicaciones: Sistemas automatizados de transporte, operaciones con múltiples puntos de picking o valor agregado.

Flujo convergente

Múltiples flujos de materiales convergen hacia un punto común de consolidación.

Características	Ventajas	Limitaciones
Puntos de origen múltiples	Eficiente para consolidación de pedidos	Riesgo de cuellos de botella en punto de convergencia
Un solo punto de salida	Simplificación del embarque	Requiere sincronización de flujos
Áreas de almacenamiento distribuidas	Flexibilidad para productos diversos	Complejidad en gestión de prioridades

Aplicaciones: Centros de distribución con alta consolidación de pedidos, operaciones de *kitting* o ensamble.

Flujo divergente

Un flujo único se divide en múltiples flujos hacia diferentes destinos.

Características	Ventajas	Limitaciones
Punto único de entrada	Eficiencia en recepción	Requiere sistemas de clasificación
Múltiples destinos	Capacidad para atender diferentes canales	Complejidad en direccionamiento
Áreas de almacenamiento especializadas	Segregación natural por destino	Mayor espacio en pasillos de distribución

Aplicaciones: Centros de distribución omnicanal, operaciones con múltiples canales de salida (tiendas, *e-commerce* y mayoristas).

3.2.3 Diseño de flujos de personas

El diseño de flujos de personas en un centro de distribución debe considerar tanto a los colaboradores operativos como al personal administrativo, visitantes y personal de mantenimiento.

Clasificación de flujos de personas

Tipo de flujo	Características	Consideraciones de diseño
Operativo	Colaboradores que realizan actividades de manejo de materiales	Rutas seguras separadas de equipos motorizados; accesos directos a estaciones de trabajo
Administrativo	Personal de oficinas, supervisión, gerencia	Conectividad con áreas operativas sin cruces peligrosos; acceso controlado
Mantenimiento	Personal de mantenimiento de equipos e instalaciones	Acceso a equipos sin interferir con operaciones; rutas técnicas segregadas
Visitantes	Proveedores, clientes, autoridades, personal en capacitación	Rutas exclusivas con visibilidad segura de operaciones; áreas de observación protegidas
Emergencias	Rutas de evacuación, acceso para servicios de emergencia	Señalización clara, pasillos libres de obstrucciones, accesos exteriores despejados

Principios de diseño de flujos peatonales

- 1. Separación física:** Las rutas peatonales deben estar físicamente separadas de las rutas de equipos motorizados mediante barreras, señalización en piso o pasillos exclusivos.
- 2. Visibilidad:** Los cruces entre flujos peatonales y de equipos deben contar con buena visibilidad para anticipar encuentros.
- 3. Continuidad:** Las rutas peatonales deben ser continuas y directas, evitando rodeos que incentiven el cruce por zonas no autorizadas.
- 4. Accesibilidad:** Las estaciones de trabajo deben tener acceso peatonal directo sin necesidad de cruzar áreas de alto tránsito de equipos.
- 5. Jerarquía:** En cruces conflictivos, se debe establecer claramente la prioridad de paso (generalmente equipos motorizados sobre peatones, salvo en zonas designadas).

Diseño de estaciones de trabajo

Las estaciones de trabajo donde los colaboradores realizan actividades operativas deben diseñarse considerando:

- **Zona de influencia:** Espacio requerido para realizar las tareas sin interferencias.
- **Abastecimiento:** Rutas de suministro de materiales a la estación.
- **Despacho:** Rutas de salida de productos procesados.
- **Acceso peatonal:** Ingreso y egreso seguro del colaborador.
- **Ergonomía:** Alturas, alcances y movimientos que minimicen esfuerzos.

3.2.4 Interacción entre flujos de materiales y personas

La interacción entre flujos de materiales y personas es uno de los aspectos más críticos para la seguridad y eficiencia operativa. Los puntos de interacción deben ser cuidadosamente diseñados para minimizar riesgos.

Clasificación de puntos de interacción

Tipo de interacción	Descripción	Estrategia de diseño
Cruces	Intersección donde flujos de materiales y personas se cruzan	Señalización, reductores de velocidad y cruces elevados
Convergencias	Puntos donde flujos se unen	Sincronización, prioridades definidas y áreas de espera
Zonas de trabajo compartidas	Áreas donde personas y equipos operan en el mismo espacio	Delimitación de zonas, protocolos de operación y sensores de proximidad
Puntos de transferencia	Lugares donde personas interactúan directamente con equipos para transferir materiales	Diseño ergonómico, protecciones y procedimientos estandarizados

Estrategias de segregación

1. **Segregación espacial:** Asignación de áreas exclusivas para peatones y áreas exclusivas para equipos motorizados.
2. **Segregación temporal:** Programación de operaciones para que personas y equipos no coincidan en el mismo espacio al mismo tiempo.
3. **Segregación por barreras físicas:** Uso de barandales, protecciones o pasillos elevados para separar flujos.

4. Segregación por señalización: Delimitación visual de zonas de riesgo mediante pintura en piso, señalización vertical y advertencias.

Diseño de cruces seguros

Los cruces entre flujos de materiales y personas deben diseñarse con los siguientes elementos:

- **Visibilidad despejada:** Eliminación de obstáculos que impidan ver la aproximación de equipos.
- **Señalización clara:** Marcaje en piso, señales de alto, espejos en esquinas.
- **Reductores de velocidad:** Elementos que obliguen a reducir la velocidad de equipos motorizados.
- **Zonas de espera:** Espacios seguros donde peatones puedan detenerse antes de cruzar.
- **Prioridad definida:** Reglas claras sobre quién tiene preferencia de paso.

3.2.5 Flujos de equipos de manejo de materiales

Los equipos de manejo de materiales constituyen el medio a través del cual se movilizan los productos en la instalación. El diseño de sus flujos debe considerar las características específicas de cada tipo de equipo.

Tipos de equipos y sus patrones de flujo

Tipo de equipo	Patrón de flujo típico	Consideraciones de diseño
Montacargas contrapesados	Recorridos flexibles, giros amplios	Pasillos anchos (3.0-3.5 m), radios de giro amplios
Reach trucks (pasillo estrecho)	Movimientos lineales en pasillos	Pasillos de 2.5-3.0 m, zonas de giro en cabeceras
VNA (pasillo muy estrecho)	Movimientos guiados en línea recta	Pasillos de 1.6-2.0 m, sistemas de guía y áreas de transferencia
AGV/AMR (vehículos autónomos)	Rutas programadas, navegación por sensores	Zonas de carga/descarga definidas, áreas de recarga e infraestructura de navegación
Bandas transportadoras	Flujo continuo en línea recta o curva	Integración con zonas de picking y empaque, y puntos de transferencia

Tipo de equipo	Patrón de flujo típico	Consideraciones de diseño
Clasificadores automáticos	Convergencia a punto único y divergencia a múltiples destinos	Espacio para acumulación, rampas de salida y contenedores de destino

Diseño de rutas para equipos motorizados

Las rutas para equipos motorizados deben considerar:

- 1. Ancho de pasillos:** Determinado por el tipo de equipo, el tamaño de las cargas y la necesidad de cruce con otros equipos.
- 2. Radios de giro:** Espacio suficiente para que los equipos realicen maniobras sin interferir con estructuras u otros equipos.
- 3. Visibilidad:** Eliminación de obstáculos que limiten el campo visual del operador.
- 4. Superficies:** Pisos con capacidad de carga adecuada, antiderrapantes y sin desniveles.
- 5. Señalización:** Marcaje de pasillos, límites de velocidad, zonas de alto y direccionalidad.

Zonas de carga y transferencia

Las zonas donde los equipos cargan o transfieren productos requieren diseño especial:

- **Espacio de maniobra:** Área suficiente para posicionamiento y salida.
- **Protecciones:** Barandales, topes y protectores de estructuras.
- **Iluminación:** Niveles adecuados para operaciones precisas.
- **Superficies de apoyo:** Pisos nivelados y resistentes al desgaste.

3.2.6 Herramientas para el análisis y optimización de flujos

Diagramas de flujo de procesos

Los diagramas de flujo permiten representar gráficamente la secuencia de operaciones, movimientos y esperas que experimentan los productos a través de la instalación.

Tipo de diagrama	Aplicación	Elementos que representa
Diagrama de recorrido	Trayectoria física de productos sobre el <i>layout</i>	Rutas, distancias y puntos de transferencia
Diagrama de flujo de proceso	Secuencia de operaciones y decisiones	Actividades, inspecciones, esperas y transportes
Diagrama de hilo	Recorridos múltiples sobre un mismo <i>layout</i>	Intensidad de tránsito por zona y congestión potencial
Diagrama de relaciones	Intensidad de flujo entre zonas	Matriz de relación y proximidad requerida

Análisis de distancias y tiempos

El análisis cuantitativo de distancias y tiempos permite identificar oportunidades de mejora:

- **Distancias recorridas:** Sumatoria de desplazamientos de productos y equipos.
- **Tiempos de ciclo:** Duración total desde recepción hasta embarque.
- **Tiempos de desplazamiento:** Proporción del ciclo dedicada a movimientos.
- **Tiempos de espera:** Tiempo en que productos o equipos están detenidos.

Simulación de flujos

La simulación computacional permite evaluar el desempeño de configuraciones de flujo antes de su implementación:

Tipo de simulación	Aplicación	Beneficios
Simulación discreta	Modelado de eventos individuales (llegadas, procesamiento y salidas)	Identificación de cuellos de botella y evaluación de capacidad
Simulación continua	Flujos constantes de materiales	Análisis de sistemas de transporte continuo
Simulación multiagente	Comportamiento de múltiples equipos y operadores	Evaluación de interacciones, congestión y rutas óptimas
Gemelo digital	Réplica virtual de la instalación en tiempo real	Monitoreo, optimización dinámica y entrenamiento

Análisis de congestión

La congestión en los flujos puede identificarse mediante:

- **Mapas de calor de tránsito:** Representación gráfica de la densidad de movimientos por zona.
- **Análisis de ratios de ocupación:** Proporción de tiempo que los pasillos están ocupados.
- **Medición de tiempos de espera:** Tiempo que equipos permanecen detenidos antes de avanzar.
- **Observación directa:** Estudio de movimientos en horas pico.

3.2.7 Flujos en operaciones especializadas

Flujos en centros de distribución omnicanal

Los CEDIS omnicanal deben manejar flujos diferenciados para distintos canales:

Canal	Características de flujo	Consideraciones de diseño
Tiendas físicas (B2B)	Unidades de carga mayores (cajas y tarimas); despachos programados por rutas	Flujos consolidados; áreas de acumulación por ruta
E-commerce (B2C)	Unidades individuales; alta fragmentación; despachos continuos	Flujos fragmentados; sistemas de clasificación; integración con paquetería
Reabastecimiento de tiendas	Frecuencias altas; volúmenes medios	Flujos sincronizados con programas de entrega
Devoluciones	Flujo inverso; procesos de inspección y reintegración	Zonas segregadas; flujo de retorno al inventario

La gestión de flujos omnicanal requiere:

- Segregación de flujos por canal en zonas diferenciadas.
- Puntos de convergencia controlados para consolidación de recursos.
- Sistemas de clasificación que direccionen productos al canal correspondiente.
- Flexibilidad para ajustar capacidad entre canales según demanda.

Flujos en cross-docking

El cross-docking representa un caso particular donde los flujos de recepción y embarque están estrechamente sincronizados:

- **Flujo directo:** Productos transferidos de recepción a embarque sin almacenamiento intermedio.
- **Sincronización temporal:** Coordinación entre horarios de llegada y salida.
- **Zonas de clasificación:** Áreas donde los productos se direccionan a los muelles de salida correspondientes.
- **Flujos de información:** Datos de recepción disponibles antes de la llegada física para planificar asignación.

Flujos en operaciones con valor agregado (VAS)

Las operaciones de valor agregado introducen flujos adicionales que deben integrarse:

- **Flujo de suministro:** Productos base hacia estaciones de VAS.
- **Flujo de insumos:** Materiales complementarios (etiquetas, empaques y componentes).
- **Flujo de productos terminados:** Productos procesados hacia embarque o retorno a almacenamiento.
- **Flujo de residuos:** Materiales de descarte hacia áreas de disposición.

3.2.8 Señalización y control de flujos

La señalización es un elemento crítico para la gestión efectiva de flujos, particularmente en la interacción entre diferentes tipos de tránsito.

Tipos de señalización

Tipo	Elementos	Propósito
Señalización de piso	Líneas, colores, símbolos y texto	Delimitación de pasillos, zonas de trabajo y áreas de almacenamiento
Señalización vertical	Letreros, banderas y luces	Identificación de zonas, direccionalidad y advertencias

Tipo	Elementos	Propósito
Señalización de seguridad	Rampas, espejos y barreras	Prevención de accidentes en puntos críticos
Señalización informativa	Mapas de ubicación y directorios	Orientación de personal y visitantes
Señalización dinámica	Pantallas y luces indicadoras	Información en tiempo real sobre asignación de muelles y estado de operaciones

Sistemas de control de flujos

Los sistemas tecnológicos contribuyen a la gestión de flujos:

- **Sistemas de gestión de almacenes (WMS):** Direccionamiento de productos, asignación de ubicaciones, secuenciación de tareas.
- **Sistemas de control de tráfico:** Gestión de acceso de vehículos, asignación de muelles, programación de citas.
- **Sistemas de localización en tiempo real (RTLS):** Seguimiento de equipos y personal para optimización de flujos.
- **Sistemas de clasificación automatizada:** Direccionamiento de productos a destinos específicos.

3.2.9 Evaluación de desempeño de flujos

La evaluación continua del desempeño de los flujos permite identificar oportunidades de mejora y validar el impacto de los cambios implementados.

Indicadores clave para flujos de materiales

Indicador	Fórmula	Interpretación
Distancia total recorrida	$\Sigma (\text{distancia} \times \text{frecuencia de viaje})$ por período	Mayor distancia implica mayor costo de manejo
Tiempo de ciclo de materiales	Tiempo desde recepción hasta embarque	Menor tiempo indica mayor eficiencia
Ratio de flujo directo	Volumen cross-docking / volumen total	Mayor ratio indica menor necesidad de almacenamiento

Indicador	Fórmula	Interpretación
Productividad de manejo	Unidades manejadas / hora-hombre	Mayor productividad indica mejor diseño de flujos
Tasa de ocupación de pasillos	Tiempo de uso / tiempo total disponible	Valores altos indican riesgo de congestión

Indicadores clave para flujos de personas

Indicador	Fórmula	Interpretación
Distancia peatonal promedio	Σ distancias recorridas por personal operativo / número de operadores	Menor distancia indica mejor diseño de estaciones de trabajo
Tiempo de desplazamiento	Tiempo dedicado a desplazamientos / tiempo total de jornada	Menor proporción indica más tiempo en actividades productivas
Incidentes de seguridad	Número de incidentes en cruces o zonas compartidas	Menor número indica mejor segregación de flujos
Tiempo de respuesta a emergencias	Tiempo desde alarma hasta llegada a punto de evacuación	Menor tiempo indica rutas de evacuación eficientes

El diseño de flujos de materiales y personas constituye un elemento fundamental en la configuración de centros de distribución eficientes, seguros y flexibles. Un sistema de flujos bien concebido reduce los tiempos de ciclo, minimiza los costos de manejo, mejora las condiciones de seguridad y facilita la gestión operativa diaria.

El profesional de la logística debe desarrollar competencias para analizar, diseñar y optimizar estos flujos, considerando las interacciones entre materiales, equipos y personas. La aplicación de los principios de flujo continuo, mínima distancia, separación de flujos incompatibles y jerarquización de prioridades permite crear entornos operativos donde la productividad y la seguridad coexisten.

Las herramientas presentadas —diagramas de flujo, análisis de distancias, simulación y evaluación de indicadores— proporcionan un marco metodológico para abordar el diseño de flujos de manera sistemática. La

implementación de estas herramientas, combinada con un profundo conocimiento de las operaciones y las características específicas de cada instalación, permite generar soluciones adaptadas a las necesidades particulares de cada centro de distribución.

La creciente complejidad de las operaciones omnicanal, la incorporación de sistemas automatizados y la evolución de los modelos de negocio exigen que el diseño de flujos sea concebido con flexibilidad suficiente para adaptarse a cambios futuros. Un centro de distribución con flujos bien diseñados no solo opera eficientemente en el presente, sino que cuenta con la capacidad de evolucionar para enfrentar los desafíos que el futuro depara.

Capítulo 9

Sistemas de almacenamiento: estanterías, racks, AS/RS y sistemas compactos

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006604>



3.3 Sistemas de almacenamiento: estanterías, racks, AS/RS y sistemas compactos

La selección del sistema de almacenamiento constituye una de las decisiones más trascendentales en el diseño de un centro de distribución. Los sistemas de almacenamiento determinan no solo la capacidad volumétrica de la instalación, sino también la accesibilidad a los productos, la eficiencia de las operaciones de picking, la flexibilidad para adaptarse a cambios en la mezcla de productos y la inversión requerida en infraestructura y equipamiento.

Esta sección aborda de manera integral las principales alternativas de sistemas de almacenamiento disponibles en el mercado, analizando sus características técnicas, aplicaciones típicas, ventajas y limitaciones, así como los criterios para su selección en función de las características de los productos, los patrones de demanda y los objetivos estratégicos de la organización.

3.3.1 Fundamentos para la selección de sistemas de almacenamiento

Criterios de selección

La selección del sistema de almacenamiento adecuado debe considerar múltiples factores interrelacionados:

Criterio	Descripción	Implicaciones
Densidad de almacenamiento	Relación entre espacio ocupado por productos y espacio total utilizado	Mayor densidad reduce costo por posición, pero puede afectar accesibilidad
Accesibilidad	Facilidad para acceder a los productos almacenados	Mayor accesibilidad mejora productividad de <i>picking</i> , pero reduce densidad

Criterio	Descripción	Implicaciones
Rotación de productos	Frecuencia con que se extraen y reponen los SKU	Alta rotación requiere sistemas de fácil acceso; baja rotación permite alta densidad
Perfil de productos	Dimensiones, peso, fragilidad y condiciones especiales	Determina dimensionamiento de celdas y requerimientos de equipos
Volumen de SKU	Número de referencias distintas a almacenar	Mayor variedad requiere mayor número de ubicaciones individuales
Inversión disponible	Capital disponible para sistemas de almacenamiento y equipos asociados	Sistemas automatizados requieren mayor inversión inicial
Flexibilidad requerida	Capacidad de adaptación a cambios en productos o volúmenes	Sistemas modulares ofrecen mayor flexibilidad
Tiempo de implementación	Plazo disponible para instalación y puesta en marcha	Sistemas estandarizados tienen menor tiempo de entrega

Clasificación por nivel de automatización

Los sistemas de almacenamiento pueden clasificarse según su nivel de automatización:

Nivel	Descripción	Ejemplos
Manual	Operación realizada íntegramente por personal sin asistencia mecánica	Estanterías de cajas, estanterías selectivas con operación manual
Mecanizado	Equipos motorizados asistidos por operadores	Estanterías selectivas con montacargas, racks con reach trucks
Semiautomatizado	Procesos automatizados con supervisión humana	Sistemas de lanzadera (<i>shuttle</i>), carruseles operados por personal
Automatizado	Operación completamente automatizada sin intervención humana	AS/RS, sistemas de miniload, robots de almacenamiento
Autónomo	Sistemas con capacidad de toma de decisiones autónoma	Sistemas robóticos con inteligencia artificial, almacenes autónomos

3.3.2 Estanterías y racks convencionales

Estanterías selectivas

Las estanterías selectivas constituyen el sistema de almacenamiento más utilizado en centros de distribución debido a su versatilidad, bajo costo relativo y facilidad de instalación.

Características	Especificaciones típicas
Configuración	Estructura de marcos verticales con vigas horizontales que soportan tarimas o carga directa
Altura	4 a 12 metros, dependiendo de equipos de manejo y altura de nave
Profundidad	Generalmente una posición de tarima por nivel (1.0-1.2 m)
Acceso	Acceso directo a cada tarima o unidad de carga
Densidad	Baja a media (30-40 % de utilización del espacio)

Ventajas:

- Acceso directo e independiente a cada unidad de carga.
- Flexibilidad para manejar diferentes tipos de productos.
- Bajo costo por posición en comparación con sistemas especializados.
- Fácil instalación, reconfiguración y expansión.
- Compatible con diversos equipos de manejo (montacargas contrapesados, *reach trucks*).

Limitaciones:

- Baja densidad de almacenamiento.
- Requiere pasillos amplios para maniobras de equipos.
- Mayor espacio desperdiciado en altura en configuraciones estándar.

Aplicaciones: Centros de distribución con alta variedad de SKU, productos de rotación media y alta, operaciones donde la accesibilidad es prioritaria sobre la densidad.

Racks de doble profundidad

Esta variante de las estanterías selectivas permite almacenar dos tarimas en profundidad, incrementando la densidad a costa de reducir la accesibilidad.

Características	Especificaciones típicas
Configuración	Dos posiciones de tarima en profundidad, con vigas de soporte continuas
Profundidad	2.0-2.4 m (dos tarimas estándar)
Acceso	Acceso directo solo a la tarima frontal; la tarima trasera requiere extracción previa
Densidad	Media (40-50 % de utilización del espacio)

Ventajas:

- Mayor densidad que estanterías selectivas (hasta 40 % más posiciones).
- Menor costo por posición que sistemas de alta densidad.
- Compatible con *reach trucks* y montacargas de pasillo estrecho.

Limitaciones:

- Acceso restringido a tarimas traseras (FIFO limitado).
- Requiere equipos con capacidad de extensión de horquillas.
- Mayor complejidad en gestión de inventarios.

Aplicaciones: Productos con baja rotación donde no es crítico el acceso FIFO, operaciones con limitaciones de espacio que requieren mayor densidad.

Racks drive-in y drive-thru

Los sistemas *drive-in* permiten el almacenamiento de tarimas en profundidad, con el equipo de manejo ingresando dentro de la estructura para depositar o extraer las cargas.

Características	Drive-in	Drive-thru
Configuración	Estructura con carriles de rodamiento; ingreso por un solo lado	Estructura con carriles; ingreso por un lado y salida por el opuesto
Acceso	LIFO (<i>Last In, First Out</i>)	FIFO (<i>First In, First Out</i>) cuando se opera con dos accesos
Profundidad	Hasta 10 posiciones en profundidad	Hasta 10 posiciones en profundidad
Densidad	Alta (60-70 % de utilización del espacio)	Alta (60-70 % de utilización del espacio)

Ventajas:

- Alta densidad de almacenamiento.
- Reducción significativa de pasillos.
- Aprovechamiento eficiente de la altura.

Limitaciones:

- Acceso limitado a productos según secuencia de almacenamiento.
- Requiere equipos de manejo con altura de elevación suficiente.
- Mayor inversión por posición que sistemas selectivos.
- Menor flexibilidad para cambios en dimensiones de carga.

Aplicaciones: Productos con alta uniformidad dimensional, inventarios con baja rotación, operaciones donde la densidad es prioritaria sobre la accesibilidad.

Racks push-back

Este sistema utiliza carros sobre rieles inclinados que se desplazan hacia adelante cuando se extrae la tarima frontal, permitiendo almacenar múltiples tarimas en profundidad con acceso desde un solo lado.

Características	Especificaciones típicas
Configuración	Carros sobre rieles con inclinación; cada nivel opera independientemente
Profundidad	2 a 6 posiciones por nivel
Acceso	LIFO (<i>Last In, First Out</i>) por nivel
Densidad	Media a alta (50-60 % de utilización del espacio)

Ventajas:

- Mayor densidad que sistemas selectivos
- Acceso más rápido que *drive-in* (menor desplazamiento del equipo)
- Adecuado para manejo de cargas unitarias
- Cada nivel opera independientemente

Limitaciones:

- Mayor inversión por posición que sistemas selectivos
- Mantenimiento de carros y rieles
- No adecuado para productos muy pesados o de dimensiones variables

Aplicaciones: Productos con rotación media a baja, operaciones con variedad de SKU donde se requiere mayor densidad sin sacrificar completamente la accesibilidad.

3.3.3 Sistemas compactos de alta densidad

Sistemas de lanzadera (shuttle)

Los sistemas de lanzadera utilizan vehículos autónomos que se desplazan dentro de los carriles de almacenamiento para depositar y extraer tarimas, combinando alta densidad con accesibilidad controlada.

Características	Especificaciones típicas
Configuración	Estructura de racks con carriles; vehículos <i>shuttle</i> por nivel; elevadores para cambio de nivel
Profundidad	Hasta 30-40 posiciones en profundidad
Acceso	FIFO o LIFO según configuración; acceso automatizado
Densidad	Muy alta (70-80 % de utilización del espacio)

Ventajas:

- Densidad superior a sistemas convencionales.
- Acceso automatizado sin ingreso de operadores a la estructura.
- Flexibilidad para operar en FIFO o LIFO.
- Reducción de tiempos de desplazamiento de equipos principales.
- Menor consumo energético que sistemas AS/RS completos.

Limitaciones:

- Inversión inicial significativa.
- Requiere integración con sistema de gestión de almacenes (WMS).
- Mantenimiento especializado de componentes electrónicos y mecánicos.
- Mayor complejidad técnica en instalación.

Aplicaciones: Centros de distribución con alta rotación de tarimas, operaciones con limitaciones severas de espacio, productos con alta uniformidad dimensional.

Sistemas de carruseles verticales (VLM)

Los carruseles verticales son sistemas automatizados que almacenan productos en bandejas que se desplazan verticalmente para llevar el contenido a una estación de acceso fija.

Características	Especificaciones típicas
Configuración	Columnas verticales con bandejas; mecanismo de rotación; estación de acceso
Altura	Hasta 10-15 metros
Capacidad por unidad	50 a 500 kg por bandeja, según modelo
Densidad	Muy alta (aprovechamiento integral de altura)

Ventajas:

- Máxima densidad de almacenamiento en altura.
- Principio "*goods to person*": el producto llega al operador.
- Seguridad de productos (acceso restringido).
- Mejora ergonómica significativa.
- Control de inventario en tiempo real.

Limitaciones:

- Alto costo por posición.
- Capacidad limitada para productos voluminosos.
- Velocidad de recuperación limitada por rotación mecánica.
- Punto único de acceso puede ser cuello de botella.

Aplicaciones: Almacenamiento de productos pequeños y medianos (electrónica, farmacéutica y repuestos), operaciones con alta variedad de SKU, entornos donde la seguridad de productos es crítica.

Carruseles horizontales

Los carruseles horizontales consisten en estanterías rotativas que se desplazan horizontalmente para llevar los productos a una estación de picking fija

Características	Especificaciones típicas
Configuración	Estructuras rotativas sobre rieles; múltiples unidades en línea
Capacidad	Variable según dimensiones de la unidad
Densidad	Alta (aprovechamiento eficiente de espacio horizontal)

Ventajas:

- Principio "*goods to person*" que reduce desplazamientos del operador.
- Configuración modular (múltiples carruseles en línea).
- Mejora de productividad en *picking*.
- Control de inventario integrado.

Limitaciones:

- Inversión moderada a alta según configuración.
- Espacio requerido para circulación de carruseles.
- La velocidad de rotación puede limitar la productividad en picos.

Aplicaciones: Operaciones de picking de productos medianos y pequeños, centros de distribución de repuestos, farmacias y almacenes de componentes electrónicos.

3.3.4 Sistemas Automatizados de Almacenamiento y Recuperación (AS/RS)

Los Sistemas Automatizados de Almacenamiento y Recuperación (AS/RS, por sus siglas en inglés) representan el nivel más alto de automatización en almacenamiento, combinando estructuras de alta densidad con equipos automatizados de depósito y extracción.

Clasificación de AS/RS

Tipo	Unidad de carga	Características	Aplicación
Unit load AS/RS	Tarimas, contenedores grandes	Grúas automatizadas para cargas pesadas (hasta 2,000 kg); alturas de 10 a 40 metros	Almacenamiento de productos paletizados, inventarios de alta rotación
Miniload AS/RS	Contenedores pequeños, cajas	Grúas para cargas ligeras (hasta 200 kg); alta velocidad de transferencia	Productos de picking por unidad, alta variedad de SKU

Tipo	Unidad de carga	Características	Aplicación
Micro-load AS/RS	Bandejas, productos individuales	Sistemas de alta velocidad para productos muy pequeños	Componentes electrónicos, farmacéutica, joyería
AS/RS de carrusel vertical automatizado	Bandejas	Sistemas integrados con extracción automatizada	Almacenamiento de productos medianos y pequeños

Componentes de un sistema AS/RS

Componente	Descripción	Función
Estructura de racks	Estructura portante de acero de alta resistencia	Soporte de cargas y guía de equipos
Grúas o vehículos de transferencia	Equipos automatizados que se desplazan en ejes X, Y, Z	Depósito y extracción de unidades de carga
Estaciones de transferencia	Puntos de interfaz con operadores o sistemas de transporte	Ingreso y egreso de productos al sistema
Sistema de control	PLC, servomotores, sensores	Control de movimientos y posicionamiento
Software de gestión	WMS integrado con sistema de control	Gestión de inventarios, asignación de ubicaciones, secuenciación

Ventajas de los sistemas AS/RS

- **Máxima densidad de almacenamiento:** Aprovechamiento integral del volumen del edificio, con alturas de hasta 40 metros.
- **Reducción de mano de obra:** Eliminación de operadores de equipos de manejo.
- **Precisión y exactitud:** Eliminación de errores en depósito y extracción.
- **Control de inventario:** Trazabilidad en tiempo real de todas las unidades almacenadas.
- **Seguridad:** Eliminación de operadores en áreas de almacenamiento.
- **Condiciones ambientales controladas:** Posibilidad de operar en temperaturas extremas (congelación) o atmósferas controladas.
- **Integración:** Conexión fluida con sistemas de transporte y picking automatizado.

Limitaciones de los sistemas AS/RS

- **Alta inversión inicial:** Costos significativos en infraestructura, equipos y sistemas.
- **Largos plazos de implementación:** 12 a 24 meses desde diseño hasta puesta en marcha.
- **Baja flexibilidad:** Cambios en dimensiones de carga requieren adaptaciones estructurales.
- **Mantenimiento especializado:** Requiere personal técnico capacitado y disponibilidad de refacciones.
- **Riesgo de obsolescencia:** Cambios tecnológicos pueden afectar valor de reventa.
- **Punto único de falla:** Fallas en grúas pueden impactar toda la operación (mitigable con redundancia).

Aplicaciones de sistemas AS/RS

- Centros de distribución de gran escala con alta rotación de inventarios.
- Operaciones de comercio electrónico con alta fragmentación de pedidos.
- Almacenamiento en cadena de frío (congelación profunda) donde la presencia humana es limitada.
- Industria farmacéutica con requisitos estrictos de trazabilidad y control.
- Centros de distribución automotriz con alta variedad de refacciones.
- Operaciones de retail con alta densidad de almacenamiento requerida.

3.3.5 Sistemas de almacenamiento automatizados emergentes

Sistemas de robots autónomos (AMR/AGV) para almacenamiento

Los sistemas basados en robots autónomos (*Autonomous Mobile Robots*) representan una alternativa flexible a los AS/RS tradicionales, utilizando flotas de robots que transportan estanterías móviles o contenedores hacia estaciones de *picking*.

Sistema	Descripción	Características distintivas
Goods-to-person con estanterías móviles	Robots transportan estanterías completas hacia estaciones de picking	Flexibilidad extrema; fácil escalamiento; inversión modular

Sistema	Descripción	Características distintivas
Grid-based storage	Sistema de almacenamiento en grilla con robots que operan en superficie	Máxima densidad; alta velocidad; ideal para <i>micro fulfillment</i>
Autonomous case handling	Robots que transportan contenedores individuales	Alta eficiencia en <i>picking</i> de unidades; integración con WMS

Ventajas:

- Flexibilidad y escalabilidad superior a AS/RS tradicionales
- Implementación más rápida (3-9 meses)
- Menor inversión inicial que AS/RS de gran escala
- Redundancia natural (falla de un robot no detiene la operación)
- Adaptabilidad a cambios en layout y volúmenes

Limitaciones:

- Altura limitada (generalmente 3-5 metros)
- Menor densidad que AS/RS de gran altura
- Requiere piso con características específicas (nivelación y marcado)
- Baterías y gestión de carga

Aplicaciones: Centros de distribución de e-commerce, operaciones omnicanal, almacenes de repuestos, instalaciones con requerimientos de rápida implementación.

Sistemas verticales automatizados con tecnología de levitación magnética

Las tecnologías emergentes utilizan sistemas de levitación magnética para el transporte vertical y horizontal de productos, eliminando componentes mecánicos tradicionales.

Característica	Descripción
Principio	Levitación magnética para movimiento sin fricción
Velocidad	Alta velocidad de transferencia
Mantenimiento	Reducción significativa de mantenimiento mecánico
Eficiencia energética	Mayor eficiencia que sistemas mecánicos convencionales

Aplicaciones: Sistemas de alta velocidad para productos de alta rotación, integración con operaciones de picking automatizado.

3.3.6 Sistemas especializados por tipo de producto

Almacenamiento de productos de gran volumen y peso

Sistema	Aplicación	Características
Racks de cantilever	Productos largos (tubos, perfiles y madera)	Brazos horizontales que soportan cargas longitudinales
Racks para láminas y rollos	Materiales en formato de rollo o lámina	Estructuras con soportes curvos para evitar deformación
Sistemas de bloqueo (block stacking)	Productos apilables (baterías, llantas)	Almacenamiento en pila sin estanterías

Almacenamiento de productos de pequeña dimensión y alta variedad

Sistema	Aplicación	Características
Estanterías para cajas (bin shelving)	Productos de pequeña dimensión	Divisiones ajustables; acceso manual directo
Estanterías tipo flow rack	Productos de alta rotación	Almacenamiento por gravedad con reposición trasera
Sistemas de carton flow	Cajas y productos en empaque secundario	Flujo por gravedad; reposición por detrás, <i>picking</i> por frente

Almacenamiento en condiciones especiales

Condición	Sistemas recomendados	Consideraciones
Temperatura controlada (refrigeración)	Estanterías selectivas, sistemas shuttle y AS/RS	Materiales resistentes a baja temperatura; sistemas anticorrosión
Congelación profunda	AS/RS automatizados (mínima presencia humana)	Componentes electrónicos protegidos; sistemas de deshielo programado
Atmósfera controlada	Sistemas sellados con acceso restringido	Estanqueidad; sistemas de monitoreo continuo
Productos peligrosos	Estanterías con contención y sistemas segregados	Materiales resistentes a corrosión; sistemas de detección de fugas

3.3.7 Metodología para la selección de sistemas de almacenamiento

La selección del sistema de almacenamiento óptimo debe seguir una metodología estructurada que considere las características específicas de cada proyecto.

Paso 1: Caracterización de productos y flujos

- Identificación de SKU con dimensiones, pesos y volúmenes
- Análisis de rotación por SKU (clasificación ABC)
- Determinación de requerimientos de acceso (FIFO, LIFO y acceso aleatorio)
- Identificación de condiciones especiales de almacenamiento

Paso 2: Determinación de requerimientos funcionales

- Número de posiciones de almacenamiento requeridas
- Volumen de movimientos de entrada y salida
- Requerimientos de productividad (transacciones por hora)
- Nivel de servicio requerido (tiempo de acceso)

Paso 3: Evaluación de alternativas

Para cada alternativa de sistema, evaluar:

Criterio	Métrica	Ponderación
Densidad de almacenamiento	Posiciones/m ²	Según restricciones de espacio
Inversión inicial	\$/posición	Según disponibilidad de capital
Costo operativo anual	\$/año	Según impacto en PyL
Productividad	Transacciones/hora	Según requerimientos de servicio
Flexibilidad	Capacidad de adaptación	Según proyecciones de cambio
Tiempo de implementación	Meses	Según urgencia del proyecto
Mantenimiento	Disponibilidad técnica	Según capacidades locales

Paso 4: Análisis de sensibilidad

- Evaluación del desempeño de cada alternativa ante cambios en volúmenes
- Análisis de escenarios de crecimiento
- Evaluación de riesgos de obsolescencia tecnológica

Paso 5: Selección y dimensionamiento detallado

- Definición del sistema seleccionado
- Dimensionamiento de capacidad
- Integración con equipos de manejo y sistemas de información
- Plan de implementación

3.3.8 Tendencias en sistemas de almacenamiento*Almacenamiento autónomo con inteligencia artificial*

La incorporación de inteligencia artificial en sistemas de almacenamiento permite:

- Optimización dinámica de ubicaciones (*slotting*) basada en patrones de demanda.
 - Predicción de necesidades de reabastecimiento.
 - Balanceo automático de carga entre zonas de almacenamiento.
 - Autodiagnóstico y mantenimiento predictivo.
- Integración de sistemas heterogéneos.

Los centros de distribución modernos combinan múltiples sistemas de almacenamiento en una configuración integrada:

- Zonas de alta rotación con sistemas robotizados *goods-to-person*.
- Zonas de media rotación con estanterías selectivas y *picking* asistido.
- Zonas de baja rotación con sistemas de alta densidad (*shuttle* y AS/RS).
- Integración mediante sistemas de transporte automatizado.

Sistemas de almacenamiento como servicio

Modelos de negocio emergentes ofrecen sistemas de almacenamiento bajo esquemas de pago por uso:

- Reducción de inversión inicial.
- Mantenimiento incluido en el modelo.

- Actualizaciones tecnológicas periódicas.
- Flexibilidad para ajustar capacidad según demanda.

La selección del sistema de almacenamiento constituye una decisión crítica que impacta la capacidad, eficiencia, flexibilidad y rentabilidad de un centro de distribución a lo largo de toda su vida útil. Desde las estanterías selectivas de bajo costo y alta flexibilidad hasta los complejos sistemas AS/RS de máxima densidad y automatización, cada alternativa ofrece un balance particular entre inversión inicial, costo operativo, densidad de almacenamiento, accesibilidad y flexibilidad.

El profesional de la logística debe desarrollar competencias para evaluar estas alternativas en función de las características específicas de cada proyecto, considerando no solo las condiciones presentes, sino también las proyecciones de evolución de los productos, los volúmenes y los patrones de demanda. La metodología presentada proporciona un marco estructurado para esta evaluación, integrando análisis cuantitativos con consideraciones estratégicas.

Las tendencias tecnológicas apuntan hacia sistemas cada vez más autónomos, flexibles e integrados, donde la inteligencia artificial permite optimizar dinámicamente la utilización del espacio y los recursos. Sin embargo, la tecnología más avanzada no siempre es la solución adecuada; el sistema óptimo es aquel que mejor equilibra los requerimientos operativos con las capacidades de inversión y las proyecciones de evolución del negocio.

La correcta selección e implementación de sistemas de almacenamiento, en conjunto con los demás elementos del diseño funcional abordados en este capítulo, constituye la base para un centro de distribución competitivo capaz de atender eficientemente las necesidades actuales y adaptarse a los desafíos futuros.

Capítulo 10

Normatividad aplicable: uso de suelo, construcción, protección civil y seguridad

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006611>



3.4 Normatividad aplicable: uso de suelo, construcción, protección civil y seguridad

El diseño y desarrollo de un centro de distribución no puede concebirse únicamente desde una perspectiva operativa y de ingeniería. Existe un entramado normativo que condiciona desde la viabilidad misma del proyecto hasta los detalles más específicos de la construcción y operación de la instalación. El incumplimiento de estas disposiciones no solo acarrea sanciones económicas y riesgos legales, sino que puede comprometer la seguridad de los colaboradores, la continuidad operativa y la reputación de la organización.

Esta sección aborda de manera integral los principales ordenamientos normativos que aplican a los centros de distribución, estructurándose en torno a los ámbitos de regulación más relevantes: el uso de suelo, las disposiciones constructivas, la protección civil y la seguridad industrial. El conocimiento y la correcta aplicación de estas normas constituyen un componente esencial del perfil profesional del egresado en logística e ingeniería.

3.4.1 Marco normativo general

El desarrollo de un centro de distribución se encuentra sujeto a un conjunto de disposiciones que operan en diferentes niveles de gobierno y que abarcan diversas dimensiones del proyecto.

Jerarquía normativa aplicable

Nivel	Ámbito	Ejemplos de disposiciones
Federal	Regulaciones de alcance nacional	Normas Oficiales Mexicanas (NOM), leyes generales y reglamentos federales
Estatat	Disposiciones con alcance en la entidad federativa	Códigos de construcción estatales y leyes de protección civil estatales
Municipal	Regulaciones de ámbito local	Reglamentos de uso de suelo, licencias de funcionamiento y bandos municipales

Entidades con facultades normativas y de inspección

- **Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS):** Vigilancia del cumplimiento de normas de seguridad y salud en el trabajo
- **Protección Civil (federal, estatal y municipal):** Supervisión de programas internos, dictámenes de seguridad y medidas de emergencia
- **Ayuntamientos municipales:** Control de uso de suelo, licencias de construcción y funcionamiento
- **Secretaría de Medio Ambiente (SEMARNAT):** Regulación de impacto ambiental y manejo de residuos
- **Comisión Federal de Electricidad (CFE):** Suministro y especificaciones técnicas de instalaciones eléctricas
- **Comisión Nacional del Agua (CONAGUA):** Regulación de suministro, descargas y aprovechamiento de agua

3.4.2 Normatividad de uso de suelo

La viabilidad de un centro de distribución comienza con la correcta clasificación del suelo donde se pretende desarrollar el proyecto. El uso de suelo determina qué actividades pueden realizarse en un predio y bajo qué condiciones.

Clasificación de uso de suelo

Clasificación	Descripción	Implicaciones para CEDIS
Habitacional	Destinado a vivienda	Generalmente no autorizado para actividades industriales o logísticas
Comercial	Destinado a actividades de comercio y servicios	Puede autorizar almacenes de menor escala, con restricciones de horario y capacidad
Industrial	Destinado a actividades productivas y logísticas	Ideal para centros de distribución; puede tener subdivisiones (liviana y pesada)
Mixto	Permite combinación de usos	Puede autorizar CEDIS con condiciones específicas de operación

Permiso de uso de suelo

El permiso de uso de suelo es el documento que certifica que la actividad comercial o industrial proyectada se ajusta al uso permitido en la ubicación del predio. Este documento debe ser solicitado ante la autoridad municipal correspondiente y constituye un requisito fundamental para cualquier trámite posterior, incluyendo la licencia de construcción y el permiso de funcionamiento.

Consideraciones para la selección de terrenos

En el contexto actual, la demanda por espacios industriales bien ubicados ha generado una consolidación de los parques industriales como alternativa preferente para centros de distribución. Las ventajas de ubicarse en desarrollos industriales especializados incluyen:

- **Certidumbre normativa:** Los terrenos cuentan con uso de suelo industrial previamente autorizado.
- **Infraestructura adecuada:** Servicios públicos dimensionados para operaciones logísticas de alta demanda.
- **Restricciones de operación:** Reglas claras sobre horarios, circulación y emisiones.
- **Valor patrimonial:** Mayor estabilidad en la valorización del activo.

Tendencias en localización industrial

El crecimiento del comercio electrónico y las operaciones de última milla han intensificado la demanda por naves logísticas en ubicaciones urbanas o periurbanas. Esta tendencia enfrenta desafíos normativos particulares, ya que las zonas con alta densidad poblacional suelen tener restricciones más severas para actividades industriales. Las empresas deben evaluar cuidadosamente las condiciones específicas de uso de suelo en cada ubicación, considerando factores como:

- Restricciones de horarios de operación
- Límites de emisiones de ruido y vibraciones
- Regulaciones de tráfico de vehículos de carga
- Alturas máximas de construcción permitidas

3.4.3 Normatividad de construcción

La edificación de un centro de distribución debe sujetarse a disposiciones técnicas que garantizan la seguridad estructural, la funcionalidad y la habitabilidad de la instalación.

Reglamentos de construcción

En México, los reglamentos de construcción operan principalmente a nivel estatal y municipal. Un referente importante es el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF), junto con sus Normas Técnicas Complementarias, que establecen los criterios técnicos aplicables a proyectos ejecutivos, obras de construcción, modificación, ampliación, reparación, instalación y demolición.

Aspectos críticos en la normativa constructiva para CEDIS

Aspecto	Consideraciones normativas	Implicaciones
Estructura	Resistencia sísmica, cargas vivas y muertas	Determinación de sistemas estructurales y cimentación especial para equipos pesados
Altura de nave	Limitaciones por zona y distancias entre ejes	Impacto en capacidad de almacenamiento vertical
Sistemas de piso	Capacidad de carga, nivelación, materiales	Requerimientos para tránsito de montacargas y sistemas AS/RS
Cerramientos	Materiales, resistencia al fuego y aislamiento	Clasificación de riesgo y eficiencia energética
Iluminación natural	Porcentajes mínimos de áreas acristaladas	Diseño arquitectónico y consumo energético
Accesibilidad	Rampas, ancho de puertas y rutas accesibles	Cumplimiento de normativa de inclusión

Normas técnicas complementarias

Las Normas Técnicas Complementarias (NTC) desarrollan y especifican los criterios técnicos del reglamento de construcción. Entre las más relevantes para centros de distribución se encuentran:

- **NTC para Proyecto arquitectónico:** Define requerimientos de circulaciones, dimensionamientos mínimos, accesibilidad y señalización.

- **NTC para Diseño por viento:** Especialmente relevante para edificaciones de gran altura y estructuras de *racks* externos.
- **NTC para Diseño sísmico:** Crítico en zonas de alta sismicidad para garantizar la integridad estructural.
- **NTC para Instalaciones eléctricas:** Establece especificaciones para sistemas de alta tensión y equipos críticos.

Licencias y permisos de construcción

El proceso de edificación requiere la obtención de diversas autorizaciones:

1. **Licencia de construcción:** Autorización municipal para iniciar la obra, que requiere la presentación de proyecto ejecutivo firmado por responsables técnicos.
2. **Manifestación de construcción:** Registro de las características generales del proyecto.
3. **Permiso de impacto ambiental:** Evaluación del proyecto por la autoridad ambiental cuando aplica.
4. **Dictamen de protección civil:** Evaluación preliminar de las condiciones de seguridad de la instalación.

3.4.4 Normatividad de protección civil

La protección civil constituye uno de los ámbitos normativos de mayor impacto en la operación de centros de distribución. El cumplimiento de estas disposiciones no solo es un requisito legal, sino un elemento fundamental para garantizar la seguridad de los colaboradores y la continuidad operativa.

Marco normativo de protección civil

Las disposiciones en materia de protección civil operan en tres niveles:

- **Ley General de Protección Civil:** Establece los principios y bases a nivel federal.
- **Leyes estatales de protección civil:** Desarrollan los procedimientos y autoridades en cada entidad.
- **Reglamentos municipales:** Definen las obligaciones concretas para los establecimientos.

Instrumentos normativos obligatorios

Instrumento	Descripción	Periodicidad
Programa Interno de Protección Civil (PIPC)	Documento que establece las directrices y acciones a seguir en caso de emergencia, incluyendo evaluación de riesgos y planes de respuesta	Obligatorio para todos los centros de trabajo; requiere actualización periódica
Dictamen de protección civil	Evaluación de la capacidad de la empresa para enfrentar emergencias, emitida por autoridad competente después de inspección	Previo al inicio de operaciones; renovación según disposición local
Bitácora de capacitación	Registro detallado de cursos y simulacros realizados, incluyendo fechas, contenidos, participantes y evaluación	Actualización continua

Programa Interno de Protección Civil (PIPC)

El Programa Interno de Protección Civil es un instrumento de planeación que debe contener:

- 1. Identificación de riesgos:** Evaluación de las condiciones del entorno y de la propia instalación que puedan generar situaciones de emergencia.
- 2. Medidas de prevención:** Protocolos claros para minimizar la ocurrencia de incidentes, adaptados a los riesgos identificados.
- 3. Plan de acción ante emergencias:** Procedimientos detallados para responder ante diferentes escenarios, incluyendo:
 - Asignación de roles y responsabilidades al personal
 - Establecimiento de rutas de evacuación y puntos de reunión
 - Capacitación para el uso de equipo de emergencia
- 4. Cronograma de simulacros:** Programación de ejercicios periódicos para familiarizar al personal con los procedimientos establecidos.

Simulacros y capacitación

La capacitación continua del personal es un requisito obligatorio que fortalece las habilidades para actuar eficientemente durante situaciones críticas. Los elementos clave incluyen:

- **Cursos de capacitación:** Entrenamiento en reconocimiento de riesgos, manejo de extintores, protocolos de evacuación y primeros auxilios.
- **Simulacros programados:** Ejercicios periódicos que permiten evaluar el desempeño y ajustar procedimientos.
- **Registro documental:** Bitácoras que acrediten la realización de capacitaciones y simulacros.

Consecuencias del incumplimiento

Las empresas que no cumplen con los estándares establecidos en materia de protección civil enfrentan sanciones que pueden incluir:

- Multas económicas significativas
- Clausura temporal o permanente del establecimiento
- Responsabilidades penales en caso de accidentes
- Daños a la reputación empresarial y pérdida de confianza de clientes y socios comerciales

3.4.5 Normatividad de seguridad industrial

La seguridad industrial en centros de distribución se rige por un conjunto de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que establecen las condiciones mínimas para prevenir riesgos y garantizar entornos de trabajo seguros.

NOM-002-STPS: Prevención y protección contra incendios

La NOM-002-STPS-2010 es una de las normas de mayor relevancia para centros de distribución. Establece las condiciones de seguridad para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo, con el objetivo de minimizar los riesgos de incendio y garantizar la existencia de mecanismos efectivos para su control.

Alcance y obligatoriedad

La NOM-002-STPS es de cumplimiento obligatorio para todos los centros de trabajo en México, independientemente de su tamaño o sector. Esto incluye específicamente a almacenes y centros de distribución.

Requisitos clave de la NOM-002-STPS

Requisito	Descripción	Aplicación en CEDIS
Clasificación de riesgo	Evaluación del potencial de ocurrencia e impacto de incendio	Determinación del nivel de protección requerido
Equipos de detección y extinción	Instalación y mantenimiento de extintores, sistemas de alarma y rociadores	Selección y distribución de equipos según áreas y riesgos
Señalización de rutas de evacuación	Indicaciones claras y visibles de salidas y puntos de reunión	Diseño de señalética, iluminación de emergencia
Capacitación del personal	Entrenamiento en procedimientos de emergencia	Programas periódicos de formación

Equipos obligatorios en sistemas contra incendios

- 1. Extintores portátiles:** Dispositivos manuales para sofocar incendios incipientes. Deben seleccionarse según el riesgo específico del área a proteger.
- 2. Rociadores automáticos de agua:** Sistemas instalados en techos que, al detectar altas temperaturas, liberan agua nebulizada para controlar incendios en etapas iniciales.
- 3. Señalización de emergencia:** Indicaciones claras que señalan rutas de evacuación, ubicación de equipos contra incendios y puntos de reunión.
- 4. Bocas de incendio equipadas (BIE):** Mangueras conectadas a la red de suministro de agua, ubicadas en puntos estratégicos.
- 5. Sistemas de alarma contra incendios:** Dispositivos que detectan presencia de fuego o humo y alertan mediante señales acústicas y visuales.

Frecuencia de mantenimiento de equipos contra incendios

Equipo	Inspección visual	Mantenimiento mayor
Extintores portátiles	Mensual (ubicación, accesibilidad y daños visibles)	Anual (pruebas de funcionamiento)
Rociadores automáticos	Trimestral (boquillas libres de obstrucciones)	Anual (presión y suministro de agua)
Bocas de incendio (BIE)	Trimestral (accesibilidad y señalización)	Anual (pruebas de presión y estado de mangueras)
Sistemas de alarma	Mensual (prueba de alarmas sonoras y visuales)	Anual (revisión completa de sensores y paneles)

NOM-001-SEDE-2012: Instalaciones eléctricas

Esta norma regula las condiciones mínimas de seguridad para las instalaciones eléctricas, con el objetivo de prevenir riesgos de electrocución y garantizar un funcionamiento seguro de los equipos. Para centros de distribución, los aspectos críticos incluyen:

- **Sistemas de alta tensión:** Alimentación de equipos de refrigeración, sistemas automatizados y climatización.
- **Sistemas de respaldo:** Plantas de emergencia y sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS).
- **Puesta a tierra:** Protección de equipos y personal contra descargas.
- **Alumbrado de emergencia:** Iluminación para evacuación en condiciones de fallo eléctrico.

Otras normas aplicables

Norma	Título	Aplicación en CEDIS
NOM-005-STPS	Manejo y almacenamiento de sustancias peligrosas	Almacenamiento de productos químicos, baterías y combustibles
NOM-006-STPS	Manejo de cargas	Operaciones de montacargas, elevación y transporte manual
NOM-009-STPS	Equipos de protección personal	Selección y uso de EPP según áreas y actividades
NOM-017-STPS	Equipos de protección personal	Especificaciones técnicas de EPP
NOM-020-STPS	Recipientes sujetos a presión	Sistemas de refrigeración, compresores y calderas

3.4.6 Procesos de inspección y verificación

El cumplimiento normativo se acredita mediante procesos de inspección realizados por autoridades competentes, así como mediante la gestión de dictámenes emitidos por peritos autorizados.

Inspecciones de Protección Civil

Las inspecciones son realizadas por las autoridades para verificar que las empresas cumplen con los requisitos establecidos. Durante este proceso, se revisan:

- **Documentación:** Programa Interno de Protección Civil, bitácoras de capacitación y dictámenes previos
- **Equipos de seguridad:** Extintores, alarmas, sistemas de detección e iluminación de emergencia
- **Señalización:** Rutas de evacuación, salidas de emergencia, puntos de reunión
- **Condiciones estructurales:** Estado de instalaciones, riesgos físicos y accesibilidad

Dictámenes especializados

Además de las inspecciones de protección civil, los centros de distribución requieren dictámenes específicos según sus características operativas:

Dictamen	Aplicación	Emisor
Dictamen eléctrico	Verificación de instalaciones eléctricas	Perito autorizado por la autoridad
Dictamen de gas	Instalaciones de gas natural o LP	Perito autorizado
Dictamen estructural	Edificaciones de gran altura o sistemas especiales	Director responsable de obra (DRO)
Dictamen de instalaciones especiales	Sistemas contra incendios, refrigeración, equipos a presión	Perito especializado

Documentación requerida para inspecciones

Las empresas deben mantener disponible la siguiente documentación:

- Permiso de uso de suelo vigente
- Licencia de construcción y término de obra
- Programa Interno de Protección Civil actualizado
- Bitácoras de capacitación y simulacros
- Dictámenes de instalaciones eléctricas, de gas y especiales
- Comprobantes de mantenimiento de equipos de seguridad
- Registros de entrega de equipo de protección personal

3.4.7 Tendencias en normatividad industrial

El entorno normativo para centros de distribución está en constante evolución, impulsado por cambios en los modelos de negocio, las tecnologías disponibles y las expectativas sociales.

Digitalización y cumplimiento normativo

La integración de tecnologías digitales está transformando los procesos de cumplimiento normativo. Tendencias relevantes incluyen:

- **Gemelos digitales (*Digital Twins*):** Réplicas virtuales de la instalación que permiten simular condiciones de emergencia y evaluar el cumplimiento normativo antes de la construcción.
- **Modelado BIM (*Building Information Modeling*):** Plataformas digitales que integran información arquitectónica, estructural y de instalaciones para facilitar la verificación normativa.
- **Sensores IoT para monitoreo:** Sistemas de detección temprana de condiciones de riesgo, mantenimiento predictivo y registro automatizado de inspecciones.

Sostenibilidad como criterio normativo

La incorporación de criterios de sostenibilidad en la normativa constructiva y operativa es una tendencia creciente. Aspectos relevantes incluyen:

- **Eficiencia energética:** Requisitos de aislamiento térmico, iluminación LED y sistemas de climatización eficientes.

- **Manejo de residuos:** Obligaciones de separación, reciclaje y disposición final de residuos industriales.
- **Huella hídrica:** Regulaciones sobre consumo de agua, captación pluvial y tratamiento de descargas.

Normativa para operaciones de última milla

La expansión de centros de distribución urbanos para atender entregas de comercio electrónico está generando nuevas regulaciones específicas:

- **Restricciones de horarios:** Ventanas operativas limitadas para reducir impacto en zonas residenciales
- **Regulaciones vehiculares:** Especificaciones para flotas de reparto (emisiones, dimensiones y horarios de circulación)
- **Requerimientos arquitectónicos:** Integración urbana, control de ruido y manejo de residuos

3.4.8 Responsabilidades del profesional en logística

El egresado en logística e ingeniería debe desarrollar competencias para gestionar el cumplimiento normativo como parte integral de los proyectos de centros de distribución.

Competencias requeridas

- **Identificación normativa:** Capacidad para identificar los ordenamientos aplicables según la ubicación y características del proyecto.
- **Gestión de trámites:** Conocimiento de los procedimientos y autoridades para la obtención de permisos y licencias.
- **Coordinación interdisciplinaria:** Capacidad para articular el trabajo de arquitectos, ingenieros civiles, peritos y asesores legales.
- **Planeación preventiva:** Incorporación de criterios normativos desde las fases iniciales de planeación para evitar costos de adecuación posteriores.
- **Actualización continua:** Seguimiento de cambios normativos y tendencias en el sector.

Estrategias para la gestión normativa

Estrategia	Descripción	Beneficio
Incorporación temprana	Incluir requisitos normativos en el análisis de factibilidad y selección de terreno	Evita inversiones en terrenos no viables
Desarrollo por etapas	Segmentar permisos y dictámenes según fases del proyecto (planeación, construcción y operación)	Distribuye trámites y reduce riesgos
Vinculación con autoridades	Establecer comunicación temprana con dependencias municipales y estatales	Clarifica criterios y acelera procesos
Asesoría especializada	Contar con consultores en protección civil, seguridad y normatividad	Garantiza cumplimiento técnico

La normatividad aplicable a centros de distribución constituye un entramado complejo que abarca desde el uso de suelo hasta las condiciones específicas de seguridad industrial. El profesional de la logística debe desarrollar competencias para navegar este entorno normativo, integrando los requisitos legales desde las fases más tempranas de planeación hasta la operación cotidiana de la instalación.

El incumplimiento de estas disposiciones no solo acarrea sanciones económicas y riesgos legales, sino que puede comprometer la seguridad de los colaboradores y la continuidad operativa. Por el contrario, una gestión normativa adecuada genera certidumbre para la inversión, protege el valor del activo y contribuye a construir una cultura de seguridad y responsabilidad.

Las tendencias hacia la digitalización y la sostenibilidad están transformando el entorno normativo, creando nuevos requerimientos, pero también nuevas herramientas para gestionar el cumplimiento. El profesional que domina estos aspectos está en condiciones de liderar proyectos de centros de distribución que no solo sean eficientes desde el punto de vista operativo, sino también seguros, sostenibles y plenamente conformes con el marco legal aplicable.

IV

Dimensionamiento y capacidad

Introducción

La fase de dimensionamiento y capacidad constituye el punto de convergencia entre la planeación estratégica y la materialización física del centro de distribución. Si los capítulos anteriores abordaron la localización, el diseño funcional y la selección de sistemas de almacenamiento, el presente capítulo se enfoca en determinar las dimensiones concretas que tendrá la instalación, así como su capacidad para procesar los flujos de materiales esperados. Esta etapa es crítica porque traduce los volúmenes proyectados, las características de los productos y los niveles de servicio comprometidos en requerimientos cuantificables de espacio, equipamiento y recursos humanos.

El dimensionamiento de un centro de distribución no es un ejercicio mecánico de aplicación de fórmulas universales. Por el contrario, constituye un proceso de ingeniería que debe equilibrar múltiples variables interrelacionadas: la capacidad de almacenamiento requerida, la productividad esperada en las operaciones de recepción y despacho, la flexibilidad para atender variaciones en la demanda y las restricciones de inversión disponibles. Un dimensionamiento inadecuado —ya sea por exceso o por defecto— genera consecuencias estructurales que afectan la competitividad de la organización durante toda la vida útil de la instalación. La subcapacidad produce restricciones operativas, cuellos de botella y pérdida de oportunidades de negocio; la sobrecapacidad, por su parte, implica inversiones ociosas y costos fijos que erosionan la rentabilidad.

Este capítulo aborda de manera integral los principios, metodologías y herramientas para el dimensionamiento de centros de distribución, estructurándose en torno a los elementos fundamentales que todo profesional de la logística debe dominar para llevar a cabo proyectos exitosos en esta materia.

En primer término, se desarrolla el dimensionamiento de la capacidad de almacenamiento, abordando los métodos para calcular las posiciones requeridas, la conversión de inventarios proyectados a unidades de almacenamiento, la aplicación de factores de densidad según el sistema

seleccionado y la incorporación de espacios para áreas de apoyo, pasillos y zonas de maniobra. Se analizan las diferencias entre almacenamiento estático y dinámico, así como las implicaciones de la clasificación ABC en la configuración espacial.

A continuación, se aborda el dimensionamiento de la capacidad de manejo, examinando cómo determinar la capacidad requerida en las áreas de recepción, picking, empaque y despacho con base en los flujos proyectados. Se presentan metodologías para calcular requerimientos de personal, equipos y estaciones de trabajo, considerando factores de productividad, variabilidad de la demanda y niveles de servicio comprometidos.

Posteriormente, se analizan los métodos de cálculo de áreas funcionales, presentando fórmulas y procedimientos para dimensionar cada zona del centro de distribución: muelles de carga, áreas de recepción, almacenamiento, picking, empaque, consolidación y embarque. Se examinan los criterios para determinar el número de bahías de carga, la profundidad de los patios de maniobras, la altura de almacenamiento aprovechable y las dimensiones de pasillos según el tipo de equipos seleccionados.

Finalmente, se aborda la integración del dimensionamiento total, presentando metodologías para consolidar los requerimientos de las distintas zonas en un proyecto integral que optimice la utilización del espacio, garantice la fluidez operativa y proporcione flexibilidad para adaptarse a crecimientos futuros. Se analizan las técnicas de simulación de capacidad y las herramientas de modelado que permiten validar el dimensionamiento antes de proceder a la construcción.

El dimensionamiento y capacidad representan, en muchos sentidos, la culminación del proceso de planeación y diseño de un centro de distribución. Las decisiones tomadas en esta etapa determinan la inversión requerida, los costos operativos futuros y la capacidad de la organización para atender las necesidades de sus clientes. Un dimensionamiento preciso y bien fundamentado convierte al centro de distribución en un activo estratégico; una estimación errónea, por el contrario, impone restricciones difíciles de corregir sin incurrir en costos prohibitivos.

Al concluir este capítulo, el lector habrá desarrollado las competencias necesarias para liderar procesos de dimensionamiento de centros de distribución, integrando análisis cuantitativos rigurosos con la consideración de

factores cualitativos que inciden en el éxito de largo plazo de los proyectos. Este conocimiento constituye una base indispensable para abordar los capítulos posteriores, donde se profundizará en la selección tecnológica, los sistemas de información, la instalación y la puesta en marcha de la instalación dimensionada.

Capítulo 11

Cálculo de áreas: almacenamiento dinámico y estático

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006628>



4.1 Cálculo de áreas: almacenamiento dinámico y estático

El cálculo de áreas en un centro de distribución constituye uno de los ejercicios de ingeniería más críticos en el proceso de dimensionamiento. Este cálculo debe considerar no solo el espacio requerido para el almacenamiento de inventarios, sino también las áreas necesarias para los procesos de recepción, preparación de pedidos, empaque y despacho, así como los espacios de circulación y maniobra que garantizan la fluidez operativa.

Una distinción fundamental en el dimensionamiento de áreas es la que existe entre el almacenamiento estático y el almacenamiento dinámico. El primero se refiere al espacio donde los productos permanecen durante periodos prolongados, mientras que el segundo corresponde a las áreas donde los productos están en tránsito o en proceso de consolidación. La correcta diferenciación y dimensionamiento de ambos tipos de almacenamiento es esencial para optimizar la utilización del espacio y garantizar la eficiencia operativa.

Esta sección aborda de manera integral las metodologías y procedimientos para el cálculo de áreas en centros de distribución, comenzando con los conceptos fundamentales de almacenamiento estático y dinámico, para luego desarrollar los métodos de dimensionamiento aplicables a cada tipo de espacio.

4.1.1 Conceptos fundamentales

Almacenamiento estático

El almacenamiento estático se refiere a las áreas donde los productos permanecen almacenados por periodos prolongados, sin movimiento constante. Estas áreas están diseñadas para maximizar la densidad de almacenamiento, priorizando la capacidad sobre la accesibilidad inmediata.

Característica	Descripción
Función principal	Resguardo de inventarios por periodos extendidos
Objetivo de diseño	Maximizar densidad de almacenamiento
Accesibilidad	Media a baja, dependiendo del sistema
Flujo	Entradas y salidas programadas, no continuas
Ejemplos	Almacenamiento de reserva, zonas de baja rotación, racks profundos

El almacenamiento estático se subdivide en:

- **Almacenamiento de reserva:** Espacio destinado a mantener inventarios de seguridad y productos de baja rotación que no requieren acceso frecuente.
- **Almacenamiento de temporada:** Áreas dedicadas a productos estacionales que tienen picos de demanda en periodos específicos.
- **Almacenamiento de excedentes:** Espacio para productos con rotación inusualmente baja o inventarios de liquidación.

Almacenamiento dinámico

El almacenamiento dinámico corresponde a las áreas donde los productos están en movimiento constante, ya sea por estar en proceso de recepción, preparación de pedidos o consolidación para despacho. Estas áreas están diseñadas para facilitar el flujo y el acceso rápido.

Característica	Descripción
Función principal	Facilitar el flujo de productos en proceso
Objetivo de diseño	Maximizar accesibilidad y velocidad de flujo
Accesibilidad	Alta, priorizando tiempos de respuesta
Flujo	Continuo, con alta rotación de productos
Ejemplos	Zonas de <i>picking</i> , áreas de consolidación, zonas de <i>cross-docking</i>

El almacenamiento dinámico se subdivide en:

- **Zonas de recepción:** Áreas donde se procesan los productos entrantes, incluyendo desconsolidación, inspección y preparación para almacenamiento.
- **Zonas de picking:** Espacios donde se conforman los pedidos de los clientes, con alta frecuencia de acceso a los productos.
- **Zonas de empaque y valor agregado:** Áreas donde los productos pickeados se preparan para su envío.
- **Zonas de consolidación y embarque:** Espacios donde los productos se agrupan por ruta o cliente previo al cargue.

Relación entre almacenamiento estático y dinámico

La relación entre ambos tipos de almacenamiento es fundamental para el diseño eficiente de un centro de distribución. En configuraciones óptimas, existe una relación de alimentación entre el almacenamiento estático y el dinámico: las áreas de almacenamiento estático (reserva) abastecen a las áreas de almacenamiento dinámico (*picking*) mediante procesos de reabastecimiento programados.

La proporción entre ambos tipos de almacenamiento depende de factores como la rotación de productos, la estrategia de *picking*, el nivel de automatización y los niveles de servicio requeridos.

4.1.2 Dimensionamiento del almacenamiento estático

El dimensionamiento del almacenamiento estático parte de la proyección de inventarios y la definición del sistema de almacenamiento seleccionado.

Paso 1: Determinación de inventarios proyectados

El punto de partida para el dimensionamiento del almacenamiento estático es la proyección de los niveles de inventario que deberán ser almacenados. Esta proyección debe considerar:

- **Inventario promedio:** Nivel esperado de existencias en condiciones normales de operación.

- **Inventario de seguridad:** Existencias adicionales para cubrir variabilidad en la demanda y en los tiempos de aprovisionamiento.
- **Inventario máximo:** Nivel máximo esperado, considerando estacionalidad y picos de demanda.
- **Inventario en tránsito:** Productos que están en proceso de recepción, pero aún no registrados en inventario disponible.

La fórmula básica para el cálculo del inventario máximo es:

$$Inv_{max} = Inv_{promedio} + Inv_{seguridad} + Inv_{estacionalidad}$$

Paso 2: Conversión a unidades de almacenamiento

Una vez determinado el inventario en unidades de producto, se procede a su conversión a unidades de almacenamiento (posiciones de tarima, ubicaciones en estanterías, etc.). Esta conversión requiere conocer:

- **Factor de empaque:** Número de unidades de producto por unidad de carga (tarima, caja y contenedor).
- **Altura de apilamiento:** Capacidad de apilamiento de los productos (para almacenamiento en bloque).
- **Densidad de almacenamiento:** Factor que considera el aprovechamiento real del espacio según el sistema seleccionado.

Para productos almacenados en tarimas, el número de posiciones requeridas se calcula como:

$$N_{posiciones} = \frac{Inv_{max}(unidades)}{Factor_{empaquetado}(unidades/tarimas)}$$

Paso 3: Selección de sistema de almacenamiento

El sistema de almacenamiento seleccionado determina la densidad de almacenamiento alcanzable y, por tanto, el espacio requerido. La siguiente tabla presenta los factores de densidad típicos para diferentes sistemas:

Sistema de almacenamiento	Factor de densidad (posiciones/m ²)	Observaciones
Estanterías selectivas (pasillo 3.2m)	0.8 - 1.2	Acceso directo a cada tarima
<i>Racks</i> de doble profundidad	1.2 - 1.8	Mayor densidad, acceso restringido
<i>Racks drive-in</i>	2.0 - 2.5	Alta densidad, acceso LIFO
Sistemas <i>shuttle</i>	2.5 - 3.5	Muy alta densidad, acceso FIFO/LIFO
AS/RS unit load	3.0 - 4.0	Máxima densidad, automatizado
Almacenamiento en bloque (<i>block stacking</i>)	1.5 - 2.5	Apilamiento directo, sin estanterías

Paso 4: Cálculo de área de almacenamiento estático

El área requerida para el almacenamiento estático se calcula considerando:

- 1. Área bruta de almacenamiento:** Espacio ocupado por las posiciones de almacenamiento, incluyendo la proyección horizontal de las estructuras.
- 2. Área de pasillos:** Espacio requerido para la circulación de equipos de manejo, cuyo ancho depende del tipo de equipo seleccionado.
- 3. Factor de utilización:** Porcentaje del área total que efectivamente se utiliza para almacenamiento (usualmente entre 50 % y 70 % para sistemas convencionales).

La fórmula general para el área de almacenamiento estático es:

$$A_{\text{estático}} = \frac{N_{\text{posiciones}} \times A_{\text{posición}}}{U_{\text{almacenamiento}}}$$

Donde:

$A_{\text{estático}}$ = Área requerida para almacenamiento estático (m²)

$N_{\text{posiciones}}$ = Número de posiciones requeridas

$A_{\text{posición}}$ = Área ocupada por cada posición (incluyendo proyección de estructura)

$U_{\text{almacenamiento}}$ = Factor de utilización del área (usualmente 0.50-0.70)

Ejemplo de dimensionamiento de almacenamiento estático

Una empresa requiere almacenar 15 000 tarimas de productos de rotación media. Se selecciona un sistema de estanterías selectivas con pasillos de 3.2 m de ancho y posiciones de 1.2 m $\times$ 1.0 m (1.2 m² por posición). El factor de utilización estimado es del 60 %.

- Número de posiciones: 15 000
- Área por posición: 1.2 m²
- Área bruta de almacenamiento: 15,000 $\times$ 1.2 = 18 000 m²
- Área total requerida: 18 000 / 0.60 = 30 000 m²

4.1.3 Dimensionamiento del almacenamiento dinámico

El dimensionamiento del almacenamiento dinámico se realiza por zonas funcionales, cada una con sus propias características y metodologías de cálculo.

Zona de recepción

El área de recepción debe dimensionarse para manejar el volumen de entrada en los períodos de mayor concentración. Los componentes a considerar son:

Componente	Descripción	Método de cálculo
Muelles de recepción	Bahías para descarga de vehículos	Basado en volumen pico, tiempo de descarga y disponibilidad
Área de desconsolidación	Espacio para descargue y separación de cargas	Volumen diario $\times$ factor de concentración $\times$ área por unidad
Área de inspección	Espacio para verificación de calidad	Volumen a inspeccionar $\times$ tiempo de inspección
Área de preparación	Espacio para etiquetado y preparación	Volumen que requiere preparación $\times$ área por unidad

El área de recepción se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$A_{recepción} = N_{muelles} \times A_{muelle} + A_{desconsolidación} + A_{inspección} + A_{preparación}$$

Donde el área de desconsolidación se dimensiona como:

$$A_{desconsolidación} = \frac{V_{pico} \times t_{procesamiento} \times A_{unidad}}{H_{operación}}$$

= Volumen máximo a recibir en el período pico (unidades)

$t_{procesamiento}$ = Tiempo de procesamiento por unidad (horas)

A_{unidad} = Área ocupada por cada unidad en proceso (m²)

$H_{operación}$ = Horas disponibles en el período pico

Zona de picking

El área de picking es una de las más críticas en el dimensionamiento, ya que concentra una alta densidad de actividad y su eficiencia impacta directamente la productividad total.

Componente	Descripción	Método de cálculo
Zona de <i>picking</i> de alta rotación	Productos A, acceso inmediato	Basado en número de SKU × dimensiones de ubicación
Zona de <i>picking</i> de media rotación	Productos B, acceso secundario	Basado en número de SKU × dimensiones de ubicación
Zona de <i>picking</i> de baja rotación	Productos C, acceso ocasional	Basado en número de SKU × dimensiones de ubicación
Estaciones de <i>picking</i>	Áreas de trabajo para operadores	Número de operadores × espacio por estación
Pasillos de <i>picking</i>	Espacios de circulación	Ancho según equipo × longitud de recorridos

El área de picking se calcula considerando la configuración seleccionada:

Picking por zonas (zonificación ABC):

$$A_{picking} = \sum_{i=A,B,C} (N_{SKUi} \times A_{ubicacióni}) + A_{estaciones} + A_{pasillos}$$

Picking con sistemas automatizados:

Para sistemas como carruseles verticales, sistemas shuttle o robots goods-to-person, el área se dimensiona según las especificaciones del proveedor, considerando:

- Huella del equipo (*footprint*)
- Áreas de estaciones de acceso (*pick stations*)
- Espacios de reabastecimiento
- Áreas de mantenimiento y acceso técnico

Zona de empaque y valor agregado

El área de empaque se dimensiona con base en el volumen de pedidos a procesar y la productividad esperada.

$$A_{\text{empaque}} = N_{\text{estaciones}} \times A_{\text{estación}} + A_{\text{suministros}} + A_{\text{acumulación}}$$

Donde:

$N_{\text{estaciones}}$ = Número de estaciones de empaque requeridas

$A_{\text{estación}}$ = Área por estación (usualmente 4-6 m² para empaque manual)

$A_{\text{suministros}}$ = Área para almacenamiento de materiales de empaque

$A_{\text{acumulación}}$ = Área para acumulación de productos antes y después del empaque

El número de estaciones de empaque se calcula como:

$$N_{\text{estaciones}} = \frac{V_{\text{pedidos_pico}} \times t_{\text{empaque}}}{H_{\text{operación}} \times U_{\text{estación}}}$$

$V_{\text{pedidos_pico}}$ = Volumen de pedidos en hora pico

t_{empaque} = Tiempo promedio de empaque por pedido (horas)

$H_{\text{operación}}$ = Horas de operación en el período pico

$U_{\text{estación}}$ = Factor de utilización de estaciones (usualmente 0.75-0.85)

Zona de consolidación y embarque

El área de consolidación y embarque debe dimensionarse para acumular los productos antes de su carga en los vehículos.

$$A_{\text{embarque}} = N_{\text{muelles}} \times A_{\text{muelle}} + A_{\text{consolidación}} + A_{\text{maniobras}}$$

El área de consolidación se calcula según el tipo de operación:

Tipo de operación	Método de cálculo
Consolidación por ruta	Volumen por ruta $\times$ área por unidad $\times$ número de rutas concurrentes
Consolidación por oleada	Volumen de la oleada $\times$ área por unidad $\times$ factor de acumulación
<i>Cross-docking</i>	Área determinada por el volumen de transferencia directa

4.1.4 Relación entre almacenamiento estático y dinámico

La proporción entre el área destinada a almacenamiento estático y dinámico varía significativamente según el modelo operativo del centro de distribución.

Factores que influyen en la proporción estático-dinámico

Factor	Impacto en almacenamiento estático	Impacto en almacenamiento dinámico
Rotación de inventarios	Mayor rotación reduce necesidad de reserva	Mayor rotación incrementa necesidad de <i>picking</i>
Estrategia de <i>picking</i>	Picking por unidad incrementa reserva	Picking por tarima reduce área de <i>picking</i>
Nivel de automatización	AS/RS reduce área estática por mayor densidad	Automatización puede reducir área dinámica
Variabilidad de demanda	Mayor variabilidad incrementa reserva	Mayor variabilidad requiere flexibilidad en <i>picking</i>
Omnicanalidad	Puede requerir reserva separada por canal	Incrementa complejidad y áreas de <i>picking</i>

Proporciones típicas por tipo de operación

Tipo de centro de distribución	Almacenamiento estático	Almacenamiento dinámico
CEDIS de <i>retail</i> (tiendas físicas)	60-70 %	30-40 %
CEDIS de <i>e-commerce</i>	30-40 %	60-70 %
CEDIS omnicanal	45-55 %	45-55 %
CEDIS de <i>cross-docking</i>	10-20 %	80-90 %
CEDIS de consolidación	40-50 %	50-60 %

Relación de abastecimiento

La relación entre almacenamiento estático y dinámico debe considerar los flujos de reabastecimiento. La frecuencia de reabastecimiento determina el tamaño del área de *picking* dinámico:

$$A_{\text{picking_dinámico}} = \frac{V_{\text{picking_diario}} \times t_{\text{ciclo_reabastecimiento}}}{H_{\text{operación}}}$$

Donde:

$V_{\text{picking_diario}}$ = Volumen diario a ser pickeado

$t_{\text{ciclo_reabastecimiento}}$ = Tiempo entre reabastecimientos (días)

$H_{\text{operación}}$ = Factor de utilización

4.1.5 Métodos avanzados de cálculo de áreas

Método de simulación de Monte Carlo

El método de simulación de Monte Carlo permite incorporar la variabilidad inherente a los procesos de almacenamiento y manejo. Este enfoque implica:

- Definición de distribuciones de probabilidad:** Para variables como demanda, tiempos de procesamiento y volúmenes de recepción.
- Generación de escenarios:** Múltiples iteraciones que simulan diferentes condiciones operativas.

3. Análisis de resultados: Determinación de percentiles para dimensionamiento robusto (por ejemplo: percentil 95 para capacidad pico)

Modelado de colas (Queueing Theory)

La teoría de colas es particularmente útil para dimensionar áreas donde se presentan acumulaciones temporales:

- **Muelles de carga:** Modelo M/M/c para determinar número óptimo de bahías
- **Áreas de inspección:** Modelo de colas para dimensionar estaciones de inspección
- **Zonas de consolidación:** Modelado de acumulación para dimensionar áreas de espera

Simulación de eventos discretos (DES)

La simulación de eventos discretos permite evaluar el comportamiento dinámico de la instalación bajo diferentes configuraciones de área. Los beneficios incluyen:

- Visualización de flujos y congestionamientos potenciales
- Evaluación de escenarios "what-if" antes de la construcción
- Optimización de la relación entre áreas estáticas y dinámicas
- Validación de supuestos de productividad

4.1.6 Consideraciones para la integración de áreas

Optimización del espacio total

La integración de áreas estáticas y dinámicas debe buscar minimizar el espacio total requerido mientras se garantiza la fluidez operativa:

$$A_{total} = A_{estático} + A_{dinámico} + A_{circulación} + A_{servicios}$$

Donde:

$A_{circulación}$ = Área de pasillos principales y secundarios

$A_{servicios}$ = Áreas administrativas, vestidores, mantenimiento, etc.

Factores de conversión típicos

Tipo de instalación	Factor de conversión (área neta / área bruta)
Almacenamiento convencional	0.50 - 0.65
Almacenamiento con pasillos estrechos	0.55 - 0.70
Almacenamiento con AS/RS	0.70 - 0.85
Operaciones de picking intensivo	0.40 - 0.55

Flexibilidad y crecimiento

El dimensionamiento debe incorporar flexibilidad para adaptarse a cambios futuros. Las estrategias incluyen:

- **Módulos de expansión:** Diseño de la instalación en módulos que permitan ampliaciones progresivas.
- **Áreas polivalentes:** Espacios diseñados para cumplir múltiples funciones según la evolución de la demanda.
- **Sistemas modulares de almacenamiento:** Estanterías y equipos que permitan reconfiguración sin inversiones estructurales.

El cálculo de áreas de almacenamiento estático y dinámico constituye un ejercicio fundamental en el dimensionamiento de centros de distribución. La correcta diferenciación entre ambos tipos de espacio, así como la aplicación de metodologías rigurosas para su dimensionamiento, permite optimizar la utilización del espacio, garantizar la fluidez operativa y minimizar las inversiones en infraestructura.

El almacenamiento estático, orientado a maximizar la densidad para productos de menor rotación, y el almacenamiento dinámico, enfocado en la accesibilidad para productos de alta rotación y procesos de valor agregado, deben ser dimensionados de manera coordinada, considerando los flujos de reabastecimiento y las características específicas de la operación.

Las metodologías presentadas —desde los cálculos determinísticos hasta las técnicas avanzadas de simulación— proporcionan al profesional de la logística un conjunto de herramientas para abordar el dimensionamiento con rigor técnico. La aplicación de estas metodologías, combinada con el conocimiento de las características de los productos, los patrones

de demanda y las estrategias operativas, permite generar configuraciones espaciales que equilibran eficiencia, flexibilidad y sostenibilidad.

El adecuado dimensionamiento de áreas, en conjunto con los demás elementos del diseño funcional abordados en este capítulo, constituye la base para un centro de distribución competitivo, capaz de atender eficientemente las necesidades actuales y adaptarse a los desafíos futuros.

Capítulo 12

Determinación de capacidad operativa (unidades/día, órdenes/día)

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006635>



4.2 Determinación de capacidad operativa (unidades/día, órdenes/día)

La determinación de la capacidad operativa constituye uno de los ejercicios centrales en el dimensionamiento de un centro de distribución. Mientras que el cálculo de áreas aborda la dimensión espacial de la instalación, la determinación de la capacidad operativa se enfoca en los flujos: cuántas unidades, cuántos pedidos y cuántas transacciones puede procesar el CEDIS en un período determinado. Esta capacidad es la que finalmente determina si la instalación podrá cumplir con los niveles de servicio comprometidos y atender los volúmenes de negocio proyectados.

La capacidad operativa de un centro de distribución no es un número único, sino un conjunto de métricas interrelacionadas que reflejan el desempeño de las diferentes áreas funcionales. La capacidad de recepción, la capacidad de almacenamiento, la capacidad de picking, la capacidad de empaque y la capacidad de despacho deben estar equilibradas para evitar cuellos de botella que limiten el flujo total. Un desbalance en estas capacidades genera ineficiencias: una capacidad de *picking* insuficiente, por ejemplo, puede hacer que la inversión en una gran capacidad de recepción y almacenamiento sea subutilizada.

Esta sección aborda de manera integral los métodos y procedimientos para la determinación de la capacidad operativa en centros de distribución, desarrollando las metodologías para cada área funcional y presentando las herramientas para su integración en una visión sistémica de la capacidad total.

4.2.1 Conceptos fundamentales de capacidad operativa

Definición de capacidad operativa

La capacidad operativa de un centro de distribución se define como el volumen máximo de trabajo que puede ser procesado por la instalación en un período determinado, bajo condiciones normales de operación y con

los recursos disponibles. Esta capacidad se expresa típicamente en unidades de producto, órdenes de cliente o transacciones por día, turno u hora.

Dimensiones de la capacidad operativa

Dimensión	Descripción	Unidades de medida
Capacidad de recepción	Volumen de producto que puede ser recibido y procesado en la entrada	Unidades/día, tarimas/día, contenedores/día
Capacidad de almacenamiento	Capacidad de resguardo de inventarios (estática)	Posiciones de almacenamiento
Capacidad de <i>picking</i>	Volumen de producto que puede ser extraído para conformar pedidos	Unidades/día, líneas/día, órdenes/día
Capacidad de empaque	Volumen de producto que puede ser acondicionado para envío	Unidades/día, órdenes/día
Capacidad de despacho	Volumen de producto que puede ser cargado y despachado	Unidades/día, órdenes/día, rutas/día

Capacidad teórica vs. capacidad práctica

Es fundamental distinguir entre la capacidad teórica y la capacidad práctica de una instalación:

Tipo de capacidad	Descripción	Factores de ajuste
Capacidad teórica	Máximo volumen procesable bajo condiciones ideales, sin interrupciones	No considera tiempos muertos, mantenimiento y variabilidad
Capacidad práctica	Volumen sostenible en condiciones reales de operación	Considera: eficiencia operativa, tiempos de cambio, mantenimiento, variabilidad y ausentismo

La capacidad práctica se estima aplicando factores de utilización a la capacidad teórica:

$$Capacidad_{práctica} = Capacidad_{teórica} \times F_{utilización} \times F_{eficiencia}$$

Donde los factores típicos son:

$F_{utilización}$: 0.75 - 0.85 (considera tiempo disponible vs. tiempo programado)

$F_{eficiencia}$: 0.80 - 0.90 (considera desempeño real vs. estándar)

4.2.2 Capacidad de recepción

La capacidad de recepción determina el volumen de producto que puede ingresar al centro de distribución en un período determinado. Esta capacidad está condicionada por:

- Número de muelles de recepción.
- Tiempo de procesamiento por vehículo.
- Productividad del personal de recepción.
- Capacidad de las áreas de desconsolidación e inspección.

Cálculo de capacidad de recepción por muelles

La capacidad teórica de recepción basada en muelles se calcula como:

$$Cap_{recepción_muelles} = N_{muelles} \times \frac{H_{operación}}{t_{ciclo}} \times C_{vehículo}$$

Donde:

$N_{muelles}$ = Número de muelles de recepción

$H_{operación}$ = Horas de operación disponibles por día

t_{ciclo} = Tiempo promedio de ocupación del muelle por vehículo (horas)

$C_{vehículo}$ = Capacidad promedio por vehículo (unidades, tarimas, etc.)

Ejemplo de cálculo:

- 8 muelles de recepción
- 16 horas de operación por día
- 1.5 horas de ciclo por vehículo (incluye descarga, verificación y documentación)
- 25 tarimas por vehículo en promedio

$$\begin{aligned}
 Cap_{recepción} &= 8 \times \frac{16}{1.5} \times 25 = 8 \times 10.67 \times 25 \\
 &= 2,134 \text{ tarimas/día}
 \end{aligned}$$

Cálculo de capacidad de recepción por área de procesamiento

Además de los muelles, la capacidad de recepción está limitada por la capacidad de procesamiento de las áreas internas:

$$\begin{aligned}
 &Cap_{recepción_procesamiento} \\
 &= \frac{A_{desconsolidación} \times D_{ocupación} \times H_{operación}}{t_{procesamiento} \times A_{unidad}}
 \end{aligned}$$

Donde:

$A_{desconsolidación}$ = Área disponible para desconsolidación (m²)

$D_{ocupación}$ = Densidad de ocupación (unidades/m²)

$t_{procesamiento}$ = Tiempo de procesamiento por unidad (horas)

A_{unidad} = Área ocupada por unidad en proceso (m²)

Factores que afectan la capacidad de recepción

Factor	Impacto	Estrategias de mejora
Programación de llegadas	Llegadas concentradas generan picos que saturan capacidad	Implementación de sistema de citas (<i>appointment scheduling</i>)
Variabilidad en tiempos de descarga	Productividad inconsistente	Estandarización de procesos, equipos de descarga dedicados
Documentación y verificación	Cuello de botella administrativo	Automatización de registro, uso de tecnología móvil
Inspección de calidad	Tiempo variable según producto	Inspección por muestreo, áreas de inspección dedicadas

4.2.3 Capacidad de picking

La capacidad de *picking* es frecuentemente el cuello de botella crítico en los centros de distribución, particularmente en operaciones con alta fragmentación de pedidos (*e-commerce*, repuestos y farmacia).

Métricas de capacidad de picking

Métrica	Descripción	Unidad de medida
Líneas por hora	Número de líneas de pedido procesadas por hora	líneas/hora
Unidades por hora	Número de unidades físicas extraídas por hora	unidades/hora
Órdenes por hora	Número de pedidos completados por hora	órdenes/hora

Cálculo de capacidad de picking basada en recursos humanos

La capacidad de *picking* basada en personal se calcula como:

$$Cap_{picking} = N_{operadores} \times P_{operador} \times H_{operación} \times F_{eficiencia}$$

Donde:

$N_{operadores}$ = Número de operadores de picking

$P_{operador}$ = Productividad estándar por operador (líneas/hora o unidades/hora)

$H_{operación}$ = Horas de operación por día

$F_{eficiencia}$ = Factor de eficiencia (usualmente 0.80-0.90)

Ejemplo de cálculo:

- 50 operadores de picking
- Productividad estándar: 120 líneas/hora
- 8 horas de operación por día
- Factor de eficiencia: 0.85

$$Cap_{picking} = 50 \times 120 \times 8 \times 0.85 = 40,800 \text{ líneas/día}$$

Cálculo de capacidad de picking basada en estaciones de trabajo

Para sistemas de picking que utilizan estaciones fijas (goods-to-person, put walls, etc.), la capacidad se calcula como:

$$Cap_{picking_estaciones} = N_{estaciones} \times R_{estación} \times H_{operación} \times F_{utilización}$$

Donde:

$N_{estaciones}$ = Número de estaciones de picking

$R_{estación}$ = Ritmo de procesamiento por estación (líneas/hora o unidades/hora)

Factores que afectan la capacidad de picking

Factor	Impacto	Estrategias de mejora
Estrategia de picking	<i>Batch picking</i> vs. zona <i>picking</i> vs. <i>wave picking</i>	Selección de estrategia según perfil de pedidos
Tecnología de apoyo	<i>Voice picking</i> , <i>pick-to-light</i> , RF <i>scanning</i>	Inversión en tecnologías de mayor productividad
Layout y zonificación	Proximidad de productos, ordenamiento por rotación	Optimización de <i>slotting</i> , zonificación ABC
Densidad de pedidos	Número de líneas por pedido	Segmentación de pedidos por complejidad
Ergonomía de estaciones	Alturas de trabajo, alcances	Diseño ergonómico para mayor productividad sostenida

Productividades típicas por tipo de picking

Tipo de picking	Productividad típica (líneas/hora)	Observaciones
<i>Picking</i> manual con lista de papel	40 - 60	Baja productividad y alta tasa de error
<i>Picking</i> con terminal RF (radiofrecuencia)	80 - 120	Productividad media y precisión mejorada

Tipo de picking	Productividad típica (líneas/hora)	Observaciones
<i>Picking con voice picking</i>	100 - 150	Manos libres y alta productividad en operadores experimentados
<i>Picking con pick-to-light</i>	150 - 250	Alta velocidad, ideal para productos de alta rotación
<i>Picking con sistemas goods-to-person (automatizados)</i>	200 - 400	Muy alta productividad e inversión significativa
<i>Picking robótico automatizado</i>	300 - 600	Máxima productividad y operación continua

4.2.4 Capacidad de empaque

La capacidad de empaque determina el volumen de producto que puede ser acondicionado para su envío. Esta capacidad es particularmente crítica en operaciones de *e-commerce* donde cada pedido requiere empaque individualizado.

Cálculo de capacidad de empaque

$$Cap_{\text{empaque}} = N_{\text{estaciones}} \times R_{\text{estación}} \times H_{\text{operación}} \times F_{\text{eficiencia}}$$

Donde:

- $N_{\text{estaciones}}$ = Número de estaciones de empaque
- $R_{\text{estación}}$ = Ritmo de empaque por estación (órdenes/hora)
- $H_{\text{operación}}$ = Horas de operación por día
- $F_{\text{eficiencia}}$ = Factor de eficiencia (usualmente 0.80-0.90)

Ritmos típicos de empaque

Tipo de empaque	Ritmo típico (órdenes/hora)	Observaciones
Empaque manual con materiales estándar	30 - 50	Productividad base, depende de complejidad
Empaque con estaciones ergonómicas optimizadas	50 - 80	Mejora por diseño de estación y abastecimiento de insumos
Empaque con dispensadores automáticos de cajas	80 - 120	Reducción de tiempos de preparación de empaque
Empaque con sistemas automatizados integrados	150 - 300	Sistemas de formado, llenado y sellado automático

Factores que afectan la capacidad de empaque

Factor	Impacto	Estrategias de mejora
Complejidad del empaque	Productos frágiles, formatos irregulares	Estandarización de empaques, materiales especializados
Variedad de materiales	Múltiples tamaños de caja, materiales de relleno	Centralización de suministros, dispensadores automáticos
Integración con picking	Sincronización entre picking y empaque	Sistemas de transporte y acumulación entre zonas
Verificación de pedidos	Doble verificación antes de empaque	Integración de sistemas de pesaje y escaneo

4.2.5 Capacidad de despacho

La capacidad de despacho determina el volumen de producto que puede salir del centro de distribución en un período determinado.

Cálculo de capacidad de despacho por muelles

$$Cap_{despacho_muelles} = N_{muelles} \times \frac{H_{operación}}{t_{ciclo}} \times C_{vehículo}$$

Donde:

$N_{muelles}$ = Número de muelles de despacho

t_{ciclo} = Tiempo promedio de ocupación del muelle por vehículo (horas)

$C_{vehículo}$ = Capacidad promedio por vehículo (unidades, órdenes, etc.)

Cálculo de capacidad de despacho por área de consolidación

$$Cap_{despacho_consolidación} = \frac{A_{consolidación} \times D_{ocupación} \times N_{ciclos}}{t_{ciclo_consolidación}}$$

Donde:

$A_{consolidación}$ = Área disponible para consolidación (m²)

$D_{ocupación}$ = Densidad de ocupación (unidades/m²)

N_{ciclos} = Número de ciclos de consolidación por día

$t_{ciclo_consolidación}$ = Tiempo de ciclo de consolidación

Factores que afectan la capacidad de despacho

Factor	Impacto	Estrategias de mejora
Programación de salidas	Concentración de despachos en ventanas reducidas	Ampliación de ventanas, programación escalonada
Secuenciación de carga	Tiempos de espera por orden de carga	Sistemas de asignación dinámica de muelles
Documentación de embarque	Procesos administrativos previos a salida	Digitalización de documentos, integración con sistemas de transporte
Restricciones de circulación	Limitaciones horarias para vehículos de carga	Planeación de rutas, flotas con permisos especiales

4.2.6 Balanceo de capacidad operativa

Uno de los principios fundamentales en el dimensionamiento de la capacidad operativa es el balance entre las diferentes áreas funcionales. La capacidad de la instalación está determinada por el eslabón más débil de la cadena de procesos.

Teorema del cuello de botella

La capacidad máxima sostenible de un centro de distribución está determinada por el recurso con menor capacidad (cuello de botella). Formalmente:

$$Cap_{sistema} = \min (Cap_{recepción}, Cap_{almacenamiento}, Cap_{picking}, Cap_{empaques}, Cap_{despacho})$$

Relaciones de balance recomendadas

Para un diseño equilibrado, se recomiendan las siguientes relaciones entre capacidades:

Relación	Valor recomendado	Justificación
Recepción / Despacho	0.8 - 1.2	Flujos de entrada y salida deben estar balanceados
Picking / Recepción	2.0 - 3.0	El <i>picking</i> requiere mayor capacidad por ser más intensivo en mano de obra
Empaque / Picking	0.9 - 1.1	Deben estar sincronizados para evitar acumulaciones
Almacenamiento (posiciones) / Recepción diaria	20 - 40 días	Capacidad para manejar inventarios en función de la rotación

Ejemplo de balance de capacidades

Área	Capacidad calculada (unidades/día)	Capacidad ajustada (unidades/día)	Observación
Recepción	25 000	25 000	Límite inferior
Almacenamiento	35 000	35 000	Suficiente
Picking	28 000	28 000	Cuello de botella identificado
Empaque	30 000	28 000	Ajustado al picking
Despacho	32 000	28 000	Ajustado al picking

Capacidad del sistema: 28 000 unidades/día (limitada por *picking*)

4.2.7 Capacidad en operaciones omnicanal

Las operaciones omnicanal presentan desafíos particulares para la determinación de capacidad, ya que deben atender simultáneamente flujos con características muy diferentes.

Capacidad para flujos B2B (tiendas físicas)

- **Unidades de manejo:** tarimas y cajas.
- **Volúmenes por pedido:** altos (tiendas completas).
- **Frecuencia:** programada, rutas consolidadas.
- **Procesos:** picking por tarima, consolidación por ruta.

Capacidad para flujos B2C (e-commerce)

- **Unidades de manejo:** piezas individuales.
- **Volúmenes por pedido:** bajos (1-5 unidades).
- **Frecuencia:** continua, alta variabilidad.
- **Procesos:** *picking* por unidad, empaque individualizado.

Modelo de capacidad omnicanal

La capacidad total en una operación omnicanal se calcula considerando la asignación de recursos a cada canal:

$$Cap_{omnicanal} = Cap_{B2B} + Cap_{B2C}$$

Sin embargo, es fundamental considerar que los recursos (personal, equipos y estaciones) pueden ser compartidos o dedicados según la estrategia operativa:

Estrategia	Descripción	Implicaciones de capacidad
Recursos dedicados	Personal y equipos separados por canal	Mayor inversión, menor flexibilidad y capacidad predecible
Recursos compartidos	Personal y equipos flexibles entre canales	Menor inversión y mayor flexibilidad, requiere planificación de asignación

4.2.8 Capacidad con sistemas automatizados

La incorporación de sistemas automatizados modifica la forma en que se determina la capacidad operativa.

Capacidad de sistemas AS/RS

La capacidad de un sistema AS/RS se determina por:

- **Capacidad de almacenamiento:** Número de posiciones (estática).
- **Capacidad de transferencia:** Número de ciclos por hora (dinámica).

$$Cap_{AS/RS} = N_{grúas} \times R_{ciclo} \times H_{operación}$$

Donde:

$N_{grúas}$ = Número de grúas o vehículos de transferencia

R_{ciclo} = Ciclos por hora por grúa (depósitos + extracciones)

$H_{operación}$ = Horas de operación

Capacidad de sistemas de transporte automatizado

Los sistemas de bandas transportadoras, clasificadores y vehículos autónomos tienen capacidades determinadas por:

- **Velocidad de transporte:** metros/segundo.
- **Capacidad de manejo:** unidades/hora.
- **Puntos de transferencia:** capacidad de alimentación y descarga.

4.2.9 Métodos para la validación de capacidad

Análisis de cuellos de botella (Bottleneck Analysis)

Metodología sistemática para identificar y eliminar restricciones de capacidad:

1. **Identificar** el recurso con menor capacidad (cuello de botella).
2. **Explotar** el cuello de botella maximizando su utilización.
3. **Subordinar** los demás recursos al ritmo del cuello de botella.
4. **Elevar** la capacidad del cuello de botella mediante mejoras.
5. **Repetir** el proceso una vez superado el cuello de botella.

Simulación de eventos discretos (DES)

La simulación permite validar la capacidad operativa considerando la variabilidad inherente a los procesos:

- **Modelado de variabilidad:** Llegadas de productos, tiempos de procesamiento, disponibilidad de recursos.
- **Evaluación de escenarios:** Diferentes configuraciones de capacidad, políticas operativas.
- **Identificación de congestionamientos:** Puntos de acumulación que afectan la capacidad efectiva.
- **Análisis de sensibilidad:** Impacto de cambios en volúmenes o productividades.

Indicadores para monitoreo de capacidad

Indicador	Fórmula	Interpretación
Utilización de capacidad	$(\text{Volumen real} / \text{Capacidad práctica}) \times 100$	Valores > 85 % indican riesgo de saturación
Tiempo de ciclo	Tiempo desde recepción hasta despacho	Menor tiempo indica mayor eficiencia
Productividad por área	Unidades procesadas / m ²	Comparación con benchmarks del sector
Órdenes atrasadas (backorders)	Número de pedidos no despachados a tiempo	Indicador de capacidad insuficiente

4.2.10 Planificación de capacidad a largo plazo

La determinación de capacidad operativa no es un ejercicio estático. La planificación de capacidad a largo plazo debe considerar:

Estrategias de ampliación de capacidad

Estrategia	Descripción	Ventajas	Desventajas
Capacidad sobredimensionada	Construcción con capacidad para crecimiento proyectado	Menor riesgo de capacidad insuficiente, menor costo de expansiones futuras	Mayor inversión inicial y costos fijos más altos

Estrategia	Descripción	Ventajas	Desventajas
Capacidad modular	Diseño para expansión por fases	Menor inversión inicial, flexibilidad	Mayor costo total si se ejecutan todas las fases
Capacidad ajustada al pronóstico	Dimensionamiento para demanda proyectada a corto plazo	Menor inversión inicial	Riesgo de capacidad insuficiente si el crecimiento supera lo proyectado

Horizonte de planificación

Horizonte	Enfoque	Métodos
Corto plazo (0-12 meses)	Ajuste de recursos variables (personal y turnos)	Programación, overtime, personal temporal
Mediano plazo (1-3 años)	Ajuste de recursos semifijos (equipos y estaciones)	Adquisición de equipos, reconfiguración de layout
Largo plazo (3-10 años)	Ajuste de recursos fijos (edificio y infraestructura)	Expansiones, nuevas instalaciones

La determinación de la capacidad operativa constituye un ejercicio fundamental en el dimensionamiento de centros de distribución. La capacidad no es un número único, sino un conjunto de métricas interrelacionadas que reflejan el desempeño de las diferentes áreas funcionales: recepción, almacenamiento, *picking*, empaque y despacho.

El profesional de la logística debe desarrollar competencias para calcular la capacidad de cada área utilizando metodologías rigurosas, identificar los cuellos de botella que limitan la capacidad del sistema, y diseñar estrategias para balancear las capacidades y eliminar restricciones. La capacidad práctica —no la teórica— es la que debe guiar las decisiones de dimensionamiento, considerando factores de utilización, eficiencia y variabilidad.

Las técnicas de simulación y análisis de cuellos de botella proporcionan herramientas poderosas para validar las decisiones de capacidad antes de la inversión en infraestructura y equipamiento. La planificación de capacidad a largo plazo, con horizontes de corto, mediano y largo plazo, permite a las organizaciones anticipar necesidades de expansión y evitar tanto la subcapacidad como la sobrecapacidad.

Un centro de distribución con capacidad operativa adecuadamente dimensionada y balanceada es aquel que puede atender los volúmenes proyectados, cumplir con los niveles de servicio comprometidos y adaptarse a las fluctuaciones de la demanda, constituyéndose así en un activo estratégico para la organización.

Capítulo 13

Gestión de estacionalidad y picos de demanda

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006642>



4.3 Gestión de estacionalidad y picos de demanda

Uno de los mayores desafíos en la planeación y operación de centros de distribución es la variabilidad de la demanda. Los patrones de consumo no son uniformes a lo largo del año; por el contrario, presentan fluctuaciones que pueden ser predecibles (estacionalidad) o impredecibles (picos inesperados). La capacidad de una instalación para manejar estas variaciones sin comprometer los niveles de servicio ni incurrir en costos desproporcionados es un factor determinante de su competitividad.

La gestión de estacionalidad y picos de demanda requiere un enfoque integral que combina el dimensionamiento estratégico de la capacidad base, la implementación de estrategias de flexibilidad operativa y el desarrollo de planes de contingencia para escenarios extremos. Esta sección aborda las metodologías y mejores prácticas para anticipar, dimensionar y gestionar los períodos de alta demanda en centros de distribución.

4.3.1 Fundamentos de la estacionalidad en la cadena de suministro

Definición y características de la estacionalidad

La estacionalidad se refiere a patrones de demanda que se repiten de manera predecible en intervalos regulares, típicamente asociados a factores como:

Factor de estacionalidad	Ejemplos	Impacto típico
Calendario festivo	Diciembre (fin de año), Navidad, Día de la Madre	Incrementos de 50-300 % en retail y e-commerce
Ciclos climáticos	Verano (productos de playa), invierno (abrigos y calefacción)	Variaciones estacionales según región y producto

Factor de estacionalidad	Ejemplos	Impacto típico
Eventos comerciales	Buen Fin, Hot Sale, Black Friday, Cyber Monday	Picos concentrados en períodos cortos (días a semanas)
Ciclos industriales	Cosechas agrícolas, temporadas de construcción	Estacionalidad en materias primas y productos industriales
Ciclos escolares	Back to school, inicio de ciclos académicos	Incrementos en papelería, libros y tecnología educativa

Análisis de patrones estacionales

La identificación y caracterización de patrones estacionales se realiza mediante:

- 1. Análisis histórico:** Revisión de datos de ventas y despachos de múltiples años para identificar patrones recurrentes.
- 2. Índices estacionales:** Cálculo de factores que indican la relación entre la demanda en cada período y la demanda promedio.

$$IE_{\text{período}} = \frac{\text{Demanda}_{\text{período}}}{\text{Demanda}_{\text{promedio_anual}}}$$

Un índice estacional de 1.5 indica que la demanda en ese período es 50 % superior al promedio anual.

- 3. Descomposición de series temporales:** Separación de la demanda en sus componentes de tendencia, estacionalidad y residual.

Ejemplo de índices estacionales para un centro de distribución de retail

Mes	Demanda (unidades)	Índice estacional	Interpretación
Enero	85 000	0.85	15 % por debajo del promedio
Febrero	80 000	0.80	20 % por debajo del promedio
Marzo	90 000	0.90	10 % por debajo del promedio
Abril	95 000	0.95	5 % por debajo del promedio
Mayo	105 000	1.05	5 % por encima del promedio

Mes	Demanda (unidades)	Índice estacional	Interpretación
Junio	110 000	1.10	10 % por encima del promedio
Julio	115 000	1.15	15 % por encima del promedio
Agosto	120 000	1.20	20 % por encima del promedio
Septiembre	110 000	1.10	10 % por encima del promedio
Octubre	105 000	1.05	5 % por encima del promedio
Noviembre	140 000	1.40	40 % por encima del promedio
Diciembre	165 000	1.65	65 % por encima del promedio

4.3.2 Estrategias de dimensionamiento para estacionalidad

El dimensionamiento de un centro de distribución debe considerar la estacionalidad para evitar que la instalación se vuelva insuficiente en los períodos pico o excesivamente sobredimensionada en períodos valle.

Enfoques de dimensionamiento

Enfoque	Descripción	Ventajas	Desventajas
Dimensionamiento para pico	Capacidad diseñada para el máximo histórico más un margen de seguridad	Capacidad suficiente para todos los escenarios; alta confiabilidad	Mayor inversión inicial; costos fijos elevados; subutilización en períodos valle
Dimensionamiento para promedio	Capacidad diseñada para la demanda promedio	Menor inversión inicial; mayor eficiencia en períodos normales	Incapacidad para atender picos; requiere estrategias complementarias
Dimensionamiento híbrido	Capacidad base para demanda promedio + estrategias de flexibilidad para picos	Balance entre inversión y capacidad de respuesta; eficiencia en períodos normales con opciones para picos	Mayor complejidad en planeación y ejecución

Cálculo de capacidad base vs. capacidad pico

La capacidad base (*core capacity*) debe dimensionarse para atender la demanda en períodos normales con alta eficiencia. La capacidad adicional requerida para picos se cubre mediante estrategias de flexibilidad:

$$Cap_{pico} = Cap_{base} + Cap_{flexible}$$

Donde:

Cap_{base} = Capacidad permanente instalada (infraestructura, equipos fijos y personal base)

$Cap_{flexible}$ = Capacidad temporal o variable (personal temporal, equipos móviles y espacios adicionales)

Factores de pico para dimensionamiento

El factor de pico (*peak factor*) es la relación entre la demanda máxima esperada y la demanda promedio:

$$FP = \frac{Demanda_{pico}}{Demanda_{promedio}}$$

Tipo de operación	Factor de pico típico	Observaciones
Retail tradicional	1.3 - 1.8	Picos en fin de año y promociones
E-commerce	2.0 - 5.0	Picos extremos en eventos como Black Friday
Productos de temporada	3.0 - 10.0	Productos con estacionalidad muy marcada (juguetes y artículos de playa)
Operaciones B2B industriales	1.2 - 1.5	Menor variabilidad que consumo masivo

4.3.3 Estrategias de flexibilidad operativa

Para atender picos de demanda sin incurrir en inversiones permanentes sobredimensionadas, los centros de distribución implementan diversas estrategias de flexibilidad.

Flexibilidad en recursos humanos

Estrategia	Descripción	Ventajas	Consideraciones
Personal temporal	Contratación de personal por temporada	Rápida implementación; costo variable	Requiere capacitación rápida; posible menor productividad inicial
Horas extras	Extensión de jornada del personal base	Personal con experiencia; sin necesidad de capacitación	Límites legales; fatiga laboral; costo por hora superior
Turnos adicionales	Ampliación de horarios de operación (segundo o tercer turno)	Mayor utilización de infraestructura fija	Requiere supervisión adicional; logística de transporte en horarios extendidos
Personal de apoyo cruzado	Personal capacitado en múltiples funciones	Flexibilidad máxima; mejor utilización	Requiere inversión en capacitación cruzada

Cálculo de requerimiento de personal para picos

El número de operadores adicionales requeridos para atender un pico se calcula como:

$$N_{\text{adicional}} = \frac{V_{\text{pico}} - V_{\text{base}}}{P_{\text{operador}} \times H_{\text{operación}} \times F_{\text{eficiencia}}}$$

Donde:

V_{pico} = Volumen a procesar en período pico

V_{base} = Volumen procesable con personal base

P_{operador} = Productividad por operador

$H_{\text{operación}}$ = Horas de operación

$F_{\text{eficiencia}}$ = Factor de eficiencia esperado

Flexibilidad en equipos y tecnología

Estrategia	Descripción	Aplicación
Equipos móviles	Montacargas y equipos de manejo adicionales en arrendamiento	Incremento temporal de capacidad de manejo
Estaciones modulares	Estaciones de picking y empaque que pueden instalarse/desinstalarse rápidamente	Expansión temporal de capacidad de procesamiento
Soluciones de almacenamiento temporal	Racks móviles, contenedores plegables, almacenamiento en suelo	Capacidad adicional para inventario estacional
Sistemas de picking asistido	Implementación temporal de tecnologías como pick-to-light o voice picking	Mejora de productividad en períodos críticos

Flexibilidad en espacios

Estrategia	Descripción	Consideraciones
Almacenamiento externo	Arrendamiento de bodegas adicionales cercanas	Costo de transporte entre instalaciones; mayor complejidad operativa
Áreas polivalentes	Espacios diseñados para múltiples usos según estacionalidad	Requiere diseño flexible desde la planeación
Almacenamiento en altura temporal	Utilización de sistemas de almacenamiento vertical temporales	Aprovechamiento de altura no utilizada en períodos normales
Expansión de horarios	Operación en turnos adicionales para mayor utilización del espacio	Afecta programación de personal y transporte

4.3.4 Gestión de inventarios para estacionalidad

La estacionalidad requiere estrategias específicas de gestión de inventarios para asegurar la disponibilidad de productos durante los períodos pico sin incurrir en excesos de inventario en los períodos valle.

Estrategias de acumulación de inventario

Estrategia	Descripción	Ventajas	Riesgos
Pre-buildup	Acumulación gradual de inventario antes del pico	Distribuye la recepción; evita saturación en período pico	Mayor inventario financiado; riesgo de obsolescencia
Just-in-time estacional	Recepción sincronizada con la demanda pico	Menor inventario promedio	Riesgo de desabasto si hay interrupciones en suministro
Almacenamiento diferido	Recepción de productos en formato concentrado para procesamiento cerca del pico	Flexibilidad para ajustar a demanda real	Requiere capacidad de procesamiento adicional

Cálculo de inventario de seguridad estacional

El inventario de seguridad para productos estacionales debe considerar tanto la variabilidad de la demanda como la incertidumbre en los tiempos de aprovisionamiento:

$$\begin{aligned}
 Inv_{seguridad_estacional} &= Z \times \sqrt{\sigma_d^2 \times LT + \sigma_{LT}^2 \times d^2} \\
 &+ Inv_{estacionalidad}
 \end{aligned}$$

Donde:

Z = Factor de nivel de servicio

σ_d = Desviación estándar de la demanda

LT = Lead time promedio

σ_{LT} = Desviación estándar del lead time

d = Demanda promedio

$Inv_{estacionalidad}$ = Inventario adicional por estacionalidad (pre-buildup)

Planificación de recepciones para estacionalidad

La planificación de recepciones debe considerar la capacidad de procesamiento disponible para evitar saturación:

Enfoque	Descripción	Aplicación
Recepción anticipada	Programación de llegadas de productos estacionales con antelación	Productos con alta predictibilidad; capacidad de almacenamiento disponible
Recepción escalonada	Distribución de recepciones a lo largo del período previo al pico	Productos con menor predictibilidad; capacidad de almacenamiento limitada
Recepción directa a picking	Productos que llegan directamente al área de <i>picking</i> sin pasar por almacenamiento de reserva	Productos de alta rotación; <i>cross-docking</i> estacional

4.3.5 Gestión de picos extremos: eventos promocionales

Eventos como Black Friday, Cyber Monday, Buen Fin o Hot Sale generan picos de demanda extremadamente concentrados que requieren estrategias específicas.

Características de picos extremos

Característica	Implicación operativa
Alta concentración temporal	Picos de demanda en días u horas específicas; requiere capacidad de procesamiento intensiva en ventanas cortas
Volatilidad en mezcla de productos	Productos con promociones pueden tener comportamiento atípico; difícil de predecir con datos históricos
Expectativas de servicio elevadas	Clientes esperan entregas rápidas incluso en períodos de alta demanda
Limitaciones de capacidad externa	Transportistas y paqueterías también tienen capacidad limitada; requiere coordinación

Estrategias para picos extremos

Estrategia	Descripción	Elementos clave
<i>Wave picking</i>	Procesamiento de pedidos por oleadas secuenciadas	Sincronización con horarios de corte de paqueterías; priorización de rutas
<i>Order streaming</i>	Procesamiento continuo de pedidos a medida que llegan	Capacidad de procesamiento en tiempo real; flexibilidad para repriorizar
<i>Picking por lote (batch picking)</i>	Agrupación de múltiples pedidos para <i>picking</i> simultáneo	Mayor productividad en pedidos de pocas líneas; requiere sistema de consolidación
<i>Put walls</i>	Estaciones de clasificación para consolidación de pedidos <i>batch</i>	Alta precisión; ideal para operaciones de alta fragmentación
Capacidad de empaque escalada	Incremento temporal de estaciones de empaque	Personal adicional; abastecimiento de materiales; sistemas de transporte

Planificación de capacidad para picos extremos

La planificación para picos extremos debe considerar:

- 1. Pronóstico de demanda:** Estimación de volumen por SKU, hora y canal.
- 2. Simulación de capacidad:** Modelado de escenarios para identificar cuellos de botella potenciales.
- 3. Plan de recursos:** Determinación de personal, equipos y espacios adicionales requeridos.
- 4. Plan de contingencia:** Protocolos para manejar demanda superior a lo proyectado.
- 5. Pruebas de estrés:** Simulaciones operativas para validar capacidad antes del evento.

4.3.6 Estrategias de gestión de demanda

Además de ajustar la capacidad, las organizaciones pueden implementar estrategias para influir en los patrones de demanda y reducir la magnitud de los picos.

Estrategias de nivelación de demanda (demand smoothing)

Estrategia	Descripción	Ejemplo
Incentivos temporales	Descuentos o beneficios para compras en períodos de baja demanda	"Hot Summer Sale" en julio para reducir pico de diciembre
Programación de entregas	Acuerdos con clientes para recibir en fechas escalonadas	Programación de entregas a tiendas por zona geográfica
Comunicación de capacidad	Informar a clientes sobre tiempos de entrega esperados	Gestión de expectativas; puede reducir presión en picos
Pre-ventas	Ventas anticipadas con entrega diferida	Distribución de procesamiento en un período más extenso

Segmentación de pedidos por urgencia

La priorización de pedidos según su urgencia permite optimizar el uso de la capacidad en períodos críticos:

Prioridad	Criterio	Estrategia de procesamiento
Alta	Pedidos con compromisos de entrega en el día	Procesamiento prioritario; recursos dedicados
Media	Pedidos con ventana de entrega de 24-48 horas	Procesamiento en ventanas secundarias
Baja	Pedidos con entregas programadas con mayor antelación	Procesamiento en períodos de menor carga

4.3.7 Monitoreo y control en períodos pico

Durante los períodos de alta demanda, el monitoreo en tiempo real es esencial para detectar desviaciones y ajustar operaciones.

Indicadores clave para monitoreo en picos

Indicador	Fórmula	Frecuencia	Acción ante desviación
Volumen procesado vs. plan	$(\text{Real} / \text{Plan}) \times 100$	Horaria	Ajustar recursos; activar contingencia
Backlog de pedidos	Pedidos pendientes de procesar	Horaria	Asignar recursos adicionales; repriorizar

Indicador	Fórmula	Frecuencia	Acción ante desviación
Tiempo de ciclo	Tiempo desde recepción a despacho	Horaria	Identificar cuellos de botella
Ocupación de muelles	Muelles ocupados / total muelles	Horaria	Reasignar turnos; reprogramar llegadas
Tasa de error	Errores / total transacciones	Turno	Reforzar controles; retrain operadores

Sistema de alertas tempranas

La implementación de un sistema de alertas tempranas permite anticipar problemas antes de que afecten el nivel de servicio:

Nivel de alerta	Condición	Acción
Verde	Operación dentro de parámetros normales	Monitoreo continuo
Amarillo	Volumen 20 % superior al plan; backlog creciente	Activar recursos de reserva; ajustar asignaciones
Naranja	Volumen 50 % superior al plan; tiempo de ciclo elevado	Activar plan de contingencia; convocar personal adicional
Rojo	Volumen 100 % superior al plan; riesgo de incumplimiento	Ejecutar protocolos de emergencia; comunicación a clientes

4.3.8 Lecciones aprendidas y mejora continua

La gestión de estacionalidad y picos de demanda se beneficia de un proceso sistemático de captura de lecciones aprendidas y mejora continua.

Proceso pospico

- 1. Recopilación de datos:** Registro de volúmenes reales, productividades, tiempos de ciclo e incidentes.
- 2. Análisis de desempeño:** Comparación contra planes y proyecciones; identificación de desviaciones.

3. **Identificación de oportunidades:** Detección de cuellos de botella no anticipados; mejoras potenciales.
4. **Actualización de planes:** Ajuste de factores de pico, estrategias de flexibilidad y planes de contingencia.
5. **Inversión en mejoras:** Implementación de cambios estructurales para próximos períodos pico.

Documentación de mejores prácticas

Las organizaciones deben documentar sistemáticamente las estrategias que han demostrado efectividad:

- Configuraciones de *layout* para períodos pico
- Niveles óptimos de personal temporal
- Procedimientos de capacitación acelerada
- Protocolos de comunicación y coordinación
- Configuraciones tecnológicas (parametrización de WMS para picos)

La gestión de estacionalidad y picos de demanda constituye un elemento crítico en la planeación y operación de centros de distribución. La variabilidad inherente a los patrones de consumo requiere que los profesionales de la logística desarrollen competencias para anticipar fluctuaciones, dimensionar capacidad de manera equilibrada e implementar estrategias de flexibilidad que permitan atender picos sin incurrir en inversiones permanentes sobredimensionadas.

El enfoque híbrido de dimensionamiento —capacidad base para la demanda promedio complementada con estrategias de flexibilidad para picos— representa la práctica más efectiva en la industria. Este enfoque combina la eficiencia en períodos normales con la capacidad de respuesta ante incrementos de demanda, equilibrando inversión y nivel de servicio.

Las estrategias de flexibilidad abarcan múltiples dimensiones: recursos humanos (personal temporal, horas extras y turnos adicionales), equipos y tecnología (arrendamientos temporales y sistemas modulares), espacios (almacenamiento externo y áreas polivalentes) y procesos (*wave picking*, *batch picking* y gestión de demanda).

La implementación exitosa de estas estrategias requiere un proceso sistemático de planificación, monitoreo en tiempo real durante los períodos pico y captura de lecciones aprendidas para mejora continua. Las organizaciones que dominan la gestión de estacionalidad y picos de demanda convierten la variabilidad —que para otras es una amenaza— en una ventaja competitiva sostenible.

V

Tecnología, automatización y sistemas de información

Introducción

La transformación digital de la cadena de suministro ha ubicado a la tecnología en el centro de la estrategia de los centros de distribución contemporáneos. Lo que hace una década era considerado innovación de vanguardia —sistemas de gestión de almacenes, equipos automatizados de almacenamiento y recuperación, o clasificadores de alta velocidad— se ha convertido hoy en estándares competitivos en industrias como el retail, el comercio electrónico, la farmacéutica y la automotriz. La presión por reducir costos, aumentar la velocidad de respuesta, mejorar la precisión y operar con niveles crecientes de complejidad ha hecho de la tecnología un habilitador indispensable de la ventaja competitiva.

Sin embargo, la incorporación de tecnología en centros de distribución no es un fin en sí mismo, sino un medio para alcanzar objetivos estratégicos. La decisión de automatizar un proceso, implementar un nuevo sistema de información o desplegar robótica colaborativa debe estar guiada por un análisis riguroso que considere el retorno sobre la inversión, el impacto en la productividad, la flexibilidad operativa y la capacidad de adaptación a cambios futuros. Una inversión tecnológica mal concebida puede generar costos hundidos significativos y rigideces operativas que comprometan la competitividad de la organización.

Este capítulo aborda de manera integral el universo de tecnologías, automatización y sistemas de información aplicables a centros de distribución, estructurándose en torno a los elementos fundamentales que todo profesional de la logística debe dominar para liderar proyectos de transformación tecnológica.

En primer término, se desarrolla el WMS (*Warehouse Management System*), el sistema de información central que gobierna las operaciones del centro de distribución. Se analizan sus funcionalidades esenciales —desde la recepción y ubicación de inventarios hasta el picking, empaque y despacho—, su integración con otros sistemas empresariales (ERP, TMS y

WCS) y los criterios para su selección, implementación y parametrización según las características específicas de cada operación.

A continuación, se abordan los sistemas de automatización de materiales, comenzando por las tecnologías de transporte y clasificación: bandas transportadoras, clasificadores automáticos (de zapatilla, de paletas y de banda transversal), vehículos guiados automáticamente (AGV) y robots autónomos móviles (AMR). Se examinan sus principios de operación, capacidades, limitaciones y criterios de selección en función de los flujos y volúmenes de la instalación.

Posteriormente, se analizan los sistemas de picking automatizado y asistido, incluyendo tecnologías como *pick-to-light*, *voice picking*, sistemas de visión asistida, estaciones de *picking goods-to-person* y sistemas robóticos de extracción de productos. Se evalúa el impacto de cada tecnología en la productividad, precisión y ergonomía, así como su aplicabilidad según el perfil de productos y pedidos.

Finalmente, se exploran las tecnologías emergentes que están redefiniendo el futuro de los centros de distribución: gemelos digitales para simulación y optimización en tiempo real, Internet de las Cosas (IoT) para monitoreo y mantenimiento predictivo, inteligencia artificial para optimización dinámica de procesos y sistemas autónomos con capacidad de toma de decisiones. Se analizan las tendencias hacia el CEDIS 4.0 y la logística inteligente, así como los desafíos de implementación y gestión del cambio asociados.

La tecnología, la automatización y los sistemas de información representan, en el contexto actual, habilitadores críticos de la estrategia logística. Un centro de distribución puede tener una ubicación privilegiada, un diseño funcional impecable y una capacidad adecuadamente dimensionada, pero sin los sistemas y tecnologías que orquesten sus operaciones, su potencial competitivo permanecerá sin explotar. Por el contrario, una inversión tecnológica bien concebida e implementada transforma la instalación en un centro de excelencia operativa, capaz de adaptarse ágilmente a los cambios del mercado y superar las expectativas de los clientes.

Al concluir este capítulo, el lector habrá desarrollado las competencias necesarias para evaluar, seleccionar e implementar las tecnologías y sistemas de información más adecuados para cada tipo de centro de dis-

tribución, comprendiendo tanto sus capacidades como sus limitaciones, y reconociendo la importancia de una visión integral que integre tecnología, procesos y personas. Este conocimiento constituye una base indispensable para abordar los capítulos posteriores, donde se profundizará en la instalación, puesta en marcha y operación de los centros de distribución tecnológicamente equipados.

Capítulo 14

WMS (*Warehouse Management System*), WCS, TMS y ERP

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006659>



5.1 WMS (*Warehouse Management System*), WCS, TMS y ERP

En el ecosistema tecnológico de un centro de distribución contemporáneo, coexisten múltiples sistemas de información que deben interactuar de manera coordinada para garantizar la fluidez operativa. Estos sistemas no compiten entre sí; por el contrario, cumplen funciones complementarias que abarcan desde la planeación estratégica de la empresa hasta el control en tiempo real de los equipos automatizados en el almacén. La correcta comprensión de sus roles, responsabilidades e interfaces es fundamental para diseñar una arquitectura tecnológica que soporte eficientemente las operaciones logísticas.

Esta sección aborda de manera integral los principales sistemas de información que gobiernan las operaciones de un centro de distribución: el WMS (*Warehouse Management System*), el WCS (*Warehouse Control System*), el TMS (*Transportation Management System*) y el ERP (*Enterprise Resource Planning*). Se analizan sus funcionalidades centrales, sus ámbitos de aplicación, las relaciones entre ellos y los criterios para su selección e integración.

5.1.1 Fundamentos de la arquitectura de sistemas en centros de distribución

La arquitectura de sistemas en un centro de distribución se organiza típicamente en capas que reflejan diferentes horizontes de planeación y niveles de control. Comprender esta jerarquía es esencial para evitar superposiciones de funciones y garantizar interfaces efectivas entre sistemas.

Jerarquía de sistemas logísticos

Capa	Sistema	Horizonte	Función principal
Estratégica	ERP, SCM	Semanas a meses	Planeación financiera, gestión de recursos, relación con clientes y proveedores
Táctica	WMS, TMS, OMS	Días a semanas	Gestión de almacenes, transporte y órdenes; optimización de recursos
Ejecución	WCS, PLC, SCADA	Segundos a minutos	Control de equipos automatizados, supervisión de procesos físicos
Sensores	IoT, RFID, sensores	Milisegundos	Captura de datos en tiempo real del entorno físico

Esta arquitectura en capas permite que cada sistema se especialice en su ámbito de control, mientras que la integración entre ellos asegura que las decisiones estratégicas se traduzcan en acciones operativas y que los eventos del mundo físico se reflejen oportunamente en los sistemas de planeación.

5.1.2 Warehouse Management System (WMS)

El *Warehouse Management System* (WMS) constituye el sistema de información central para la gestión de operaciones dentro del centro de distribución. Es el "sistema de registro" autoritativo para el inventario almacenado y el orquestador de las tareas que deben ejecutarse en la instalación.

Definición y propósito

Un WMS es una plataforma de software que gestiona y controla las operaciones diarias de un centro de distribución. Su propósito fundamental es asegurar la fidelidad del inventario —que lo que el sistema registra coincida con la realidad física— y orquestar las tareas de los operadores y equipos para maximizar la eficiencia.

Funcionalidades centrales del WMS

Función	Descripción	Beneficio clave
Recepción	Registro de productos entrantes, validación contra órdenes de compra y asignación de ubicaciones	Precisión en la entrada de inventario
Almacenamiento (<i>putaway</i>)	Direccionamiento de productos a ubicaciones óptimas según reglas de negocio	Maximización de densidad y accesibilidad
Gestión de inventarios	Control de niveles, localización, trazabilidad y rotación de existencias	Visibilidad en tiempo real del inventario
Picking	Generación y secuenciación de tareas de extracción y asignación a operadores	Optimización de rutas y productividad
Empaque	Validación de productos, generación de etiquetas e integración con sistemas de pesaje	Precisión en el cumplimiento de pedidos
Despacho	Consolidación por ruta, generación de documentación y asignación de muelles	Eficiencia en la salida de productos
Devoluciones	Procesamiento de productos retornados, inspección, reintegración o disposición	Gestión efectiva del flujo inverso

Evolución de los WMS

Los sistemas WMS han evolucionado significativamente desde sus orígenes. Los WMS tradicionales (*legacy*) operaban en modalidad batch, con actualizaciones periódicas de inventario y procesos no siempre en tiempo real. Los WMS modernos, en cambio, operan con arquitecturas cloud-native, APIs bien documentadas y capacidades de integración en tiempo real.

Las tres arquitecturas principales de WMS son:

- 1. Monolítico on-premise:** Sistema completo instalado en servidores locales, que incluye módulos de ejecución integrados. Ofrece control total, pero menor flexibilidad.

2. **Cloud-native modular:** Sistema alojado en la nube con APIs documentadas, que delega la ejecución de movimientos a sistemas especializados (WCS). Mayor flexibilidad y menor inversión inicial.
3. **Híbrido:** Combina componentes en la nube (master data, órdenes) con componentes en el borde (*edge*) para operaciones sensibles a la latencia. Equilibrio entre flexibilidad y rendimiento.

4. Criterios para la selección de un WMS

La selección de un WMS debe considerar múltiples factores alineados con la estrategia operativa:

Criterio	Preguntas clave
Volumen y complejidad	¿Maneja el sistema el throughput esperado? ¿Soporta múltiples canales (B2B, B2C)?
Tipo de productos	¿Maneja productos a granel, cajas, piezas individuales? ¿Requiere trazabilidad por lote o serie?
Integración con automatización	¿Se integra con sistemas de transporte, clasificadores, robótica?
Integración con ERP	¿Puede intercambiar órdenes, inventarios y documentos financieros con el ERP corporativo?
Flexibilidad y escalabilidad	¿Puede adaptarse a cambios en volúmenes o procesos? ¿Permite expansión modular?
Modelo de costo	¿On-premise o suscripción (SaaS)? ¿Cuál es el TCO (<i>Total Cost of Ownership</i>) proyectado?

5.1.3 Warehouse Control System (WCS)

El *Warehouse Control System* (WCS) es el sistema responsable de coordinar y controlar los equipos automatizados de manejo de materiales dentro del centro de distribución. Actúa como el "director de tránsito" de la automatización.

Definición y propósito

Mientras el WMS se enfoca en la gestión del inventario y la asignación de tareas, el WCS se concentra en la ejecución física de los movimientos. El WCS recibe instrucciones del WMS (por ejemplo: "traslada la tarima X

desde la ubicación Y hasta la estación Z") y las descompone en comandos para los equipos específicos: bandas transportadoras, clasificadores, elevadores, vehículos guiados (AGV/AMR) y sistemas de almacenamiento automatizado (AS/RS).

Funcionalidades centrales del WCS

Función	Descripción
Control de transportadores	Gestión de velocidad, direccionamiento y acumulación en bandas transportadoras
Orquestación de clasificadores	Direccionamiento de productos a destinos específicos según códigos de barras o RFID
Coordinación de AGV/AMR	Asignación de rutas, gestión de tráfico y recarga de baterías de robots autónomos
Control de AS/RS	Comandos de depósito y extracción para grúas automatizadas
Monitoreo de equipos	Supervisión de estado, detección de fallas, registro de eventos
Integración con sensores	Recepción de señales de fotoceldas, sensores de posición, lectores de código

Relación WMS-WCS

La relación entre WMS y WCS es de cooperación con roles claramente diferenciados. El WMS se encarga de la lógica de negocio (qué producto, cuándo, para qué pedido), mientras que el WCS se encarga de la ejecución física (cómo moverlo, por qué ruta, a qué velocidad).

Los puntos de integración críticos entre ambos sistemas incluyen:

- **Order-release messages:** El WMS envía instrucciones al WCS sobre los movimientos a ejecutar.
- **Task acknowledgements:** El WCS confirma la recepción y finalización de las tareas.
- **Inventory reconciliation events:** El WCS notifica al WMS sobre los movimientos completados para actualizar el registro de inventario.
- **Exception streams:** Ambos sistemas intercambian información sobre desviaciones o fallas.

La especificación de estos handoffs debe ser explícita en los contratos de adquisición, incluyendo la latencia máxima aceptable y los protocolos de comunicación (usualmente REST APIs o *message brokers* con semántica de entrega garantizada).

5.1.4 Transportation Management System (TMS)

El *Transportation Management System* (TMS) es el sistema especializado en la planificación, ejecución y optimización del transporte de mercancías hacia y desde el centro de distribución.

Definición y propósito

El TMS gestiona el movimiento de productos entre instalaciones (proveedores → CEDIS → clientes). Su propósito es minimizar los costos de transporte mientras se cumplen los niveles de servicio requeridos, mediante la optimización de rutas, la selección de transportistas y el seguimiento de envíos.

Funcionalidades centrales del TMS

Función	Descripción
Planeación de transporte	Determinación de modos, rutas y consolidación de cargas
Selección de transportistas	Evaluación y asignación de transportistas basada en costo, capacidad y desempeño
Programación de embarques	Asignación de ventanas de tiempo y coordinación con muelles
Ejecución de transporte	Generación de documentación (cartas de porte y manifiestos), coordinación con transportistas
Seguimiento de envíos	Monitoreo en tiempo real de la posición y estado de las cargas
Auditoría de fletes	Verificación de facturas de transportistas contra servicios contratados

Integración TMS-WMS

El TMS y el WMS deben operar de manera coordinada. El WMS notifica al TMS cuando un embarque está listo para ser recogido; el TMS, a su vez,

informa al WMS sobre la asignación de transportistas, números de seguimiento y eventos durante el tránsito.

Esta integración permite automatizar flujos como:

- Cuando el WMS completa el picking de un pedido, el TMS puede automáticamente solicitar una recogida al transportista.
- Cuando el TMS recibe una actualización de *tracking*, esta se refleja en el WMS y en los portales de clientes.

5.1.5 Enterprise Resource Planning (ERP)

El *Enterprise Resource Planning* (ERP) es el sistema de información corporativo que integra la gestión financiera, contable, de recursos humanos, compras, ventas y otras funciones administrativas de la organización.

Definición y propósito

El ERP es el "sistema de registro" financiero de la empresa. Su propósito es proporcionar una visión única e integrada de todas las transacciones comerciales, sirviendo como fuente de verdad para la situación financiera y operativa de la organización.

Funcionalidades centrales del ERP relevantes para logística

Función	Descripción
Gestión de órdenes de compra	Emisión, seguimiento y recepción de órdenes a proveedores
Gestión de órdenes de venta	Registro de pedidos de clientes, verificación de crédito y facturación
Gestión de inventario (maestro)	Registro de niveles de inventario a nivel corporativo (no detalle de ubicaciones)
Contabilidad y finanzas	Registro de costos, cuentas por pagar y cuentas por cobrar
Gestión de proveedores	Registro maestro de proveedores y evaluación de desempeño

Relación ERP-WMS

El ERP y el WMS tienen roles complementarios, pero distintos. El ERP gestiona el inventario a nivel de "cantidad total disponible" y el valor financiero del inventario; el WMS gestiona la ubicación precisa, el estado y el movimiento de cada unidad.

El flujo típico de información es:

- **ERP → WMS:** Órdenes de compra (para recepción), órdenes de venta (para *picking* y despacho), información maestra de productos y clientes.
- **WMS → ERP:** Confirmaciones de recepción, registros de despacho, ajustes de inventario y consumos en operaciones de valor agregado.

La integración entre ambos sistemas debe ser bidireccional y en tiempo real para mantener la consistencia de la información. Un desfase entre el ERP y el WMS puede generar discrepancias financieras y errores operativos.

Limitaciones del ERP para logística

Si bien muchos ERP incluyen módulos de gestión de almacenes, estos suelen ser "feature-light" en comparación con los WMS especializados. Las limitaciones típicas incluyen:

- Manejo limitado de ubicaciones detalladas dentro del almacén.
- Falta de soporte para procesos complejos de picking (por zona, por oleada y por lote).
- Capacidad reducida para integrarse con equipos automatizados (WCS).
- Menor capacidad de optimización en tiempo real.

Por esta razón, organizaciones con operaciones logísticas complejas optan por un WMS especializado que se integra con el ERP corporativo, en lugar de utilizar el módulo de inventario del ERP.

5.1.6 Sistemas complementarios

Además de los sistemas centrales, existen otras plataformas que pueden formar parte del ecosistema tecnológico de un centro de distribución.

Order Management System (OMS)

El OMS se enfoca en la orquestación de pedidos multicanal. Determina la mejor manera de cumplir un pedido considerando la disponibilidad de inventario en toda la red (múltiples CEDIS, tiendas, proveedores) y los costos de transporte asociados. En operaciones omnicanal, el OMS actúa como un cerebro superior que decide qué centro de distribución o tienda surtirá cada pedido.

Warehouse Execution System (WES)

El WES es un término más reciente que describe sistemas que combinan funcionalidades parciales o totales de WMS y WCS. Su objetivo es proporcionar una capa unificada que orqueste tanto las tareas de los operadores humanos como los movimientos de equipos automatizados. Sin embargo, el término no está estandarizado, por lo que es necesario evaluar cuidadosamente las funcionalidades específicas de cada solución etiquetada como WES.

Yard Management System (YMS)

El YMS gestiona el patio de maniobras exterior al centro de distribución: seguimiento de remolques, asignación de muelles, programación de citas para transportistas, y coordinación de movimientos dentro del patio.

5.1.7 Integración de sistemas: desafíos y mejores prácticas

La integración efectiva entre WMS, WCS, TMS y ERP es crítica para el éxito operativo, pero también representa uno de los mayores desafíos en proyectos tecnológicos.

Desafíos comunes en la integración

Desafío	Descripción	Consecuencia
Interfaces subespecificadas	Falta de definición clara de formatos, frecuencias y semántica de los mensajes	Datos inconsistentes, pérdida de información

Desafío	Descripción	Consecuencia
Modelos de datos inconsistentes	Diferentes identificadores para el mismo producto o ubicación en distintos sistemas	Errores de reconciliación, inventario incorrecto
Latencia no gestionada	Suposición implícita de comunicación instantánea cuando existen retardos	Estados desincronizados, decisiones basadas en información desactualizada
Falta de logging y monitoreo	Ausencia de registro detallado de las transacciones entre sistemas	Dificultad para diagnosticar fallas y auditar operaciones
Versiones desalineadas	Actualización de un sistema sin actualizar sus interfaces con otros	Fallas de compatibilidad, interrupciones operativas

Mejores prácticas para la integración

- 1. Mapeo completo de flujos de datos:** Documentar cada transacción entre sistemas: origen, destino, formato, frecuencia, propietario de los datos.
- 2. Uso de formatos estandarizados:** Emplear JSON, XML o EDI para el intercambio de datos, reduciendo el esfuerzo de mantenimiento.
- 3. API-first design:** Preferir sistemas que expongan APIs REST bien documentadas sobre integraciones propietarias.
- 4. Logging centralizado:** Implementar un registro detallado de todas las transacciones entre sistemas para facilitar auditorías y resolución de problemas.
- 5. Plataforma de integración (middleware):** Considerar el uso de un bus de servicios empresarial (ESB) o API *gateway* para gestionar la complejidad de las integraciones.
- 6. Pruebas exhaustivas:** Realizar pruebas de integración en entorno de pruebas (*sandbox*) antes de la implementación en producción, incluyendo pruebas de carga y escenarios de falla.

Integración extendida: IoT y gemelos digitales

Las tecnologías emergentes están expandiendo las capacidades de integración. El Internet de las Cosas (IoT) permite que sensores en equipos,

productos e instalaciones alimenten datos en tiempo real a los sistemas de información. Los gemelos digitales (*digital twins*) crean réplicas virtuales del centro de distribución que integran datos de WMS, WCS, IoT y otras fuentes para simulación y optimización continua.

5.1.8 Tendencias en sistemas de información logística

Cloud-native WMS

La migración de WMS a la nube (SaaS) está ganando adopción debido a menores costos iniciales, actualizaciones automáticas, escalabilidad y accesibilidad desde cualquier ubicación.

WMS como plataforma de integración

Los WMS modernos están evolucionando hacia plataformas que orquestan un ecosistema de sistemas especializados (WCS, TMS, robotics controllers) en lugar de intentar abarcar todas las funciones.

Inteligencia artificial y machine learning

La incorporación de IA/ML en WMS y TMS permite:

- Optimización dinámica de ubicaciones de almacenamiento (slotting)
- Predicción de demanda para reabastecimiento proactivo
- Asignación inteligente de pedidos a transportistas
- Detección de anomalías y mantenimiento predictivo

Control Tower y visibilidad end-to-end

Las "torres de control" (*control towers*) integran datos de WMS, TMS, ERP y socios externos para proporcionar visibilidad completa de la cadena de suministro en tiempo real.

El ecosistema de sistemas de información en un centro de distribución está compuesto por plataformas especializadas que cumplen funciones complementarias: el WMS gestiona el inventario y orquesta las tareas del almacén; el WCS controla los equipos automatizados; el TMS optimiza el

transporte; el ERP integra la gestión financiera y administrativa. Ninguno de estos sistemas puede reemplazar completamente a los demás; su valor máximo se alcanza cuando operan de manera integrada y coordinada.

El profesional de la logística debe desarrollar competencias para comprender las funcionalidades de cada sistema, definir las interfaces entre ellos y gestionar los proyectos de selección e implementación. La correcta arquitectura tecnológica —selección de sistemas apropiados, integración efectiva y alineación con los procesos operativos— es un habilitador fundamental de la competitividad del centro de distribución.

Las tendencias hacia la nube, la inteligencia artificial y los gemelos digitales están transformando este panorama, creando nuevas oportunidades para la optimización y la visibilidad. El profesional que domina estos sistemas y su integración está en condiciones de liderar centros de distribución que no solo operan eficientemente, sino que aprenden, se adaptan y mejoran continuamente.

Capítulo 15

**Automatización: bandas transportadoras,
clasificadores, robots móviles (AMR), voz
y *pick-to-light***

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006666>



5.2 Automatización: bandas transportadoras, clasificadores, robots móviles (AMR), voz, pick-to-light

La automatización de los procesos logísticos ha pasado de ser una ventaja competitiva a convertirse en un requisito fundamental en los centros de distribución de alta productividad. La presión por reducir los tiempos de ciclo, aumentar la precisión, disminuir los costos operativos y mitigar la escasez de mano de obra ha impulsado la adopción de tecnologías automatizadas en todas las áreas del almacén, desde el transporte interno de materiales hasta la preparación de pedidos.

Esta sección aborda de manera integral las principales tecnologías de automatización aplicables a centros de distribución, analizando sus principios de funcionamiento, aplicaciones típicas, ventajas y limitaciones, así como los criterios para su selección e implementación.

5.2.1 Fundamentos de la automatización en centros de distribución

Definición y alcance

Un almacén automatizado es una instalación que utiliza tecnologías como transportadores, clasificadores, vehículos autónomos, sistemas de picking asistido y software especializado para realizar tareas logísticas de forma autónoma y eficiente. La automatización puede abarcar desde procesos semiautomáticos, donde el sistema guía al operador, hasta sistemas completamente automáticos donde la intervención humana es mínima.

Niveles de automatización

Nivel	Descripción	Características
Semiautomático	Procesos asistidos por tecnología con intervención humana	Sistemas de picking asistido (voz y luz), transportadores básicos
Automatización de decisiones	Software guía las operaciones, ejecución humana	WMS avanzado con optimización de rutas, tareas asignadas
Totalmente automático	Ejecución sin intervención humana	AS/RS, AGV/AMR, clasificadores automáticos, robótica

Beneficios de la automatización

La implementación de sistemas automatizados en centros de distribución ofrece múltiples beneficios:

- **Aumento de productividad:** Operación continua 24/7 sin fatiga ni interrupciones.
- **Reducción de errores:** Eliminación de errores humanos en *picking* y clasificación.
- **Optimización del espacio:** Mayor densidad de almacenamiento mediante sistemas automatizados.
- **Seguridad mejorada:** Reducción de accidentes al minimizar la interacción humano-equipo.
- **Escalabilidad:** Capacidad de adaptación a picos de demanda y crecimiento.
- **Trazabilidad:** Registro automatizado de cada movimiento y transacción.

5.2.2 Bandas transportadoras y sistemas de transporte

Los sistemas de transporte automatizados constituyen la "columna vertebral" del flujo de materiales en un centro de distribución, conectando las diferentes áreas funcionales y moviendo productos de manera eficiente entre ellas.

Tipos de sistemas de transporte

Tipo	Descripción	Aplicación típica
Bandas transportadoras	Correas continuas para movimiento horizontal de productos	Transporte de cajas, paquetes y productos de dimensiones uniformes
Transportadores de rodillos	Rodillos accionados por motor o gravedad	Transporte de tarimas, cajas pesadas y acumulación controlada
Transportadores de cadena	Cadenas que arrastran cargas pesadas	Transporte de tarimas y contenedores industriales
Transportadores elevadores	Sistemas que cambian la altura del producto	Conexión entre niveles, alimentación de áreas elevadas
Transportadores de banda cruzada (<i>cross belt</i>)	Bandas transversales montadas en carros	Clasificación de alta velocidad y desvío preciso de productos

Integración con sistemas de automatización

Los sistemas de transporte modernos se integran con el Warehouse Control System (WCS) para optimizar el flujo de materiales. El WCS controla la velocidad, el direccionamiento y la acumulación en los transportadores, asegurando que los productos lleguen al destino correcto en el momento adecuado.

Consideraciones de diseño

- **Capacidad:** Determinar el *throughput* requerido (unidades/hora).
- **Flexibilidad:** Capacidad de reconfiguración para cambios en *layout*.
- **Mantenimiento:** Accesibilidad para limpieza y reparaciones.
- **Seguridad:** Protecciones, paradas de emergencia y señalización.

5.2.3 Clasificadores automáticos (Sorters)

Los sistemas de clasificación automatizada son soluciones que identifican, dirigen y enrutan artículos hacia su destino correcto dentro del almacén o centro de distribución. Son esenciales en operaciones de gran volumen como el cumplimiento de comercio electrónico, la logística de paquetería y la distribución minorista.

Tipos de clasificadores

Tipo	Descripción	Capacidad típica	Aplicación
Clasificador de banda cruzada (Cross Belt)	Correas transversales que descargan productos en los destinos	Hasta 30 000 unidades/hora	Paquetes, cajas y productos diversos
Clasificador de bandeja basculante (<i>Tilt Tray</i>)	Bandejas que se inclinan para deslizar productos a rampas	15 000 - 25 000 unidades/hora	Prendas de vestir y productos planos
Clasificador de línea (<i>Line Sorter</i>)	Sistema lineal para volúmenes medios	5000 - 12 000 unidades/hora	Distribución interna y consolidación
Sistema de bolsas (<i>Pouch System</i>)	Bolsas aéreas para transporte y clasificación	Variable	Secuenciación de pedidos y devoluciones

Funcionamiento de un clasificador de banda cruzada

El clasificador de banda cruzada (*cross belt*) utiliza carros equipados con bandas transversales que se desplazan sobre una estructura. Cuando el carro alcanza el destino asignado, la banda se activa y descarga el producto en la rampa o contenedor correspondiente. Este sistema es capaz de clasificar hasta más de 30 000 unidades por hora con una precisión superior al 99,9 %.

Proceso de clasificación automatizado

El proceso moderno de clasificación implica:

- 1. Identificación:** Escáneres o cámaras capturan datos del producto (código de barras y RFID).
- 2. Decisión:** El WCS determina la ruta según destino o pedido.
- 3. Movimiento:** Transportadores y clasificadores dirigen el artículo al destino correcto.

Ventajas de los sistemas de clasificación

- **Velocidad:** Manejo de alto throughput, esencial para e-commerce.
- **Precisión:** Reducción de errores de enrutamiento.
- **Eficiencia:** Automatización de procesos de consolidación y envío.
- **Escalabilidad:** Capacidad para manejar picos estacionales.
- **Ahorro laboral:** Minimización de manipulación manual.

5.2.4 Robots móviles autónomos (AMR)

Los robots móviles autónomos (*Autonomous Mobile Robots* o AMR) son vehículos equipados con sensores, cámaras y software de navegación que les permite desplazarse de manera autónoma por el almacén sin necesidad de infraestructura fija como rieles o cables guía.

Diferencia entre AGV y AMR

Característica	AGV (Automated Guided Vehicle)	AMR (Autonomous Mobile Robot)
Navegación	Basada en infraestructura fija (cintas magnéticas, cables)	Navegación autónoma con sensores y SLAM
Flexibilidad	Baja; cambios requieren modificar infraestructura	Alta; adaptación mediante software
Capacidad de adaptación	Limitada; sigue rutas predeterminadas	Dinámica; evita obstáculos en tiempo real
Escalabilidad	Compleja; requiere nuevas instalaciones	Simple; añadir robots al software

Aplicaciones de AMR en centros de distribución

Aplicación	Descripción	Beneficios
Transporte de materiales	Movimiento de materias primas desde recepción a almacenamiento	Reducción de tiempos y eliminación de desplazamientos de personal
Alimentación de líneas	Suministro de componentes a estaciones de trabajo	Flujo continuo y productividad mejorada
Transporte de pallets	Movimiento de cargas pesadas (hasta 1,350 kg)	Eficiencia en distancias largas y seguridad

Aplicación	Descripción	Beneficios
Waste disposal	Transporte de residuos y materiales de desecho	Optimización de rutas y menor interferencia
Goods-to-person	Transporte de estanterías o contenedores a estaciones de picking	Reducción de caminata del operador y productividad aumentada

Beneficios de la implementación de AMR

- 1. Reducción de tiempos de desplazamiento:** Los operadores pueden enfocarse en actividades de valor agregado mientras los AMR transportan materiales.
- 2. Mejora de la seguridad:** Los AMR están diseñados con sensores de detección de obstáculos y sistemas de evasión de colisiones, reduciendo accidentes en áreas con personal.
- 3. Escalabilidad flexible:** Los AMR pueden añadirse fácilmente a la flota sin modificaciones significativas en la infraestructura.
- 4. Operación continua:** Capacidad de operación 24/7, incluso durante turnos nocturnos o períodos de escasez de personal.
- 5. Integración con sistemas existentes:** Los AMR se integran con WMS y sistemas de gestión de flotas para optimización dinámica de rutas.

Caso de éxito: Faurecia

La empresa automotriz Faurecia implementó robots MiR500 y MiR200 con elevadores de pallets y ganchos para automatizar el transporte de materiales desde el muelle de recepción hasta las líneas de producción. Los resultados incluyeron una reducción del uso de montacargas, disminución del trabajo manual y un aumento del 25 % en la productividad, junto con una reducción significativa de accidentes laborales.

5.2.5 Picking por voz (Voice picking)

El voice picking es una tecnología que equipa a los operadores con auriculares conectados a un sistema de reconocimiento de voz que les indica las instrucciones de *picking*. Los operadores confirman mediante respuestas verbales simples, manteniendo sus manos libres y su vista en el entorno.

Funcionamiento del voice picking

1. El WMS envía tareas de picking al sistema de voz.
2. El sistema traduce las instrucciones a comandos de voz.
3. El operador recibe indicaciones como "Ubicación A-12-34, cantidad 5".
4. El operador confirma verbalmente ("5") o mediante lectura de dígitos de verificación.
5. El sistema registra la confirmación y avanza a la siguiente tarea.

Ventajas del voice picking

Ventaja	Descripción	Impacto
Manos libres	Operador no necesita sostener dispositivos	Mayor productividad y seguridad mejorada
Ojos libres	Operador mantiene vista en el entorno	Reducción de accidentes y mayor precisión
Alta precisión	Reconocimiento de voz con verificación	Precisión de 99,8 - 99,98 %
Rápido onboarding	No requiere entrenamiento extensivo	Incorporación inmediata de nuevo personal
Ideal para condiciones adversas	Funciona en frío, humedad y espacios reducidos	Aplicable en almacenes refrigerados

Tecnología de reconocimiento de voz con IA

Los sistemas modernos de voice picking utilizan inteligencia artificial para el reconocimiento de voz, lo que elimina la necesidad de entrenamiento previo del sistema. El reconocimiento funciona de manera confiable incluso en entornos ruidosos de almacén.

Caso de éxito: BAKO

BAKO, líder en productos de panadería, implementó el sistema LYDIA Voice de EPG en su almacén de Preston, donde se procesan más de 74 000 artículos semanalmente en categorías ambiente, refrigerada y congelada. El sistema de reconocimiento de voz con IA funcionó sin entrenamiento

previo, permitiendo a los operadores comenzar a trabajar inmediatamente. La implementación redujo los tiempos de capacitación y aumentó la aceptación por parte del personal.

5.2.6 Picking por luz (*Pick-to-Light*)

El *pick-to-light* (PTL) es un sistema que utiliza módulos con luces LED y displays numéricos montados en las estanterías o ubicaciones de almacenamiento. Cuando se libera un pedido, las luces se iluminan en las ubicaciones donde debe realizarse el picking, mostrando la cantidad a extraer en un pequeño display. El operador confirma la extracción presionando un botón.

Funcionamiento del pick-to-light

1. El WMS envía la orden de *picking* al sistema PTL.
2. Los módulos en las ubicaciones correspondientes se iluminan.
3. El operador visualiza la ubicación y la cantidad en el display.
4. Realiza la extracción y presiona el botón de confirmación.
5. La luz se apaga y el sistema registra la finalización.

Ventajas del pick-to-light

Ventaja	Descripción	Impacto
Alta velocidad	Elimina tiempos de lectura y búsqueda	150 - 250 líneas/hora
Bajo error	Guía visual intuitiva	Precisión cercana al 100 %
Mínimo entrenamiento	Interfaz intuitiva	Onboarding inmediato
Ideal para alta densidad	Óptimo para zonas con muchos SKU pequeños	Alta productividad en áreas densas
Integración con WMS	Comunicación en tiempo real	Trazabilidad completa

Limitaciones del pick-to-light

- Requiere inversión inicial en hardware (luces, controladores, cableado).
- Menos flexible ante cambios frecuentes de layout (requiere reconfiguración física).

- No es adecuado para picking de productos grandes o con rotación baja.
- El costo se justifica en zonas de alta velocidad y estabilidad de SKU.

Especificaciones técnicas de sistemas PTL modernos

Los sistemas *pick-to-light* contemporáneos ofrecen características avanzadas:

- Conectividad WiFi y BLE para instalación flexible.
- Cifrado de datos AES128, SHA256, TLS1.2 para comunicación segura.
- Soporte de hasta 120 dispositivos por controlador.
- Múltiples modos de operación: *picking* paralelo, secuencial, por kits, por lotes.
- Confirmación mediante botón, sensor o remoto.

5.2.7 Comparativa de tecnologías de picking

La selección de la tecnología de picking adecuada depende de múltiples factores operativos.

Criterio	Pick-to-Light	Voice Picking	RF Scanning
Productividad (líneas/hora)	150 - 250	100 - 150	80 - 120
Precisión típica	99,9 %+	99,8 - 99,98 %	99,5 - 99,9 %
Inversión inicial	Alta (hardware por ubicación)	Media (licencias y headsets)	Media (dispositivos)
Flexibilidad ante cambios	Baja (requiere reconfiguración física)	Alta (cambios por software)	Alta (cambios por software)
Ergonomía	Buena (manos libres parcial)	Excelente (manos y ojos libres)	Buena (con dispositivos wearables)
Entrenamiento requerido	Mínimo	Mínimo (IA sin entrenamiento)	Moderado
Ambiente óptimo	Zonas de alta densidad, SKU estables	Frío, húmedo, espacios reducidos	Versátil, múltiples procesos

Guía de selección de tecnología de picking

- **Pick-to-Light:** Seleccionar cuando se tienen zonas de alta rotación, SKU de pequeña dimensión, *layout* estable y alta densidad de *picking* por área.
- **Voice Picking:** Seleccionar cuando se requiere manos libres (*picking* de dos manos y manejo de cargas), el entorno es desafiante (frío y humedad) o se busca onboarding rápido de personal temporal.
- **RF Scanning:** Seleccionar cuando se necesita versatilidad para múltiples procesos (recepción, *putaway*, *picking* e inventario), se tienen múltiples SKU con variabilidad o el presupuesto inicial es limitado.

5.2.8 Integración de tecnologías de automatización

Arquitectura de integración

Las tecnologías de automatización deben integrarse en una arquitectura coherente:

ERP → *WMS* → *WCS* → *Equipos (transportadores, clasificadores, AMR, PTL, Voice)*

El WMS asigna tareas y gestiona inventarios; el WCS traduce esas tareas en comandos para los equipos específicos.

Enfoques híbridos

La mayoría de los centros de distribución implementan enfoques híbridos que combinan tecnologías por zona o tarea:

- **Zona A (alta rotación):** *Pick-to-light* o *goods-to-person* con AMR.
- **Zona B (media rotación):** *Voice picking* o *RF scanning*.
- **Zona C (baja rotación):** *RF scanning* con *picking* por lote.
- **Clasificación:** Sistemas *cross belt* o *line sorter* según volumen.
- **Transporte:** AMR para distancias largas y transportadores para flujos principales.

Beneficios del enfoque híbrido

- **Optimización de inversión:** tecnología adecuada para cada zona.
- **Mayor productividad global:** cada proceso con herramienta óptima.
- **Flexibilidad:** posibilidad de ajustar según evolución de la demanda.
- **Redundancia:** falla de un sistema no paraliza toda la operación.

5.2.9 Tendencias en automatización

Integración de IA en sistemas de picking

Los sistemas de *voice picking* modernos utilizan inteligencia artificial para reconocimiento de voz sin entrenamiento previo, funcionando de manera confiable en entornos ruidosos.

AMR con inteligencia de flota

Los sistemas de gestión de flotas de AMR optimizan dinámicamente las rutas, gestionan la recarga de baterías y coordinan el tráfico entre decenas o cientos de robots simultáneamente.

Gamificación en sistemas de voz

Algunos sistemas incorporan elementos de gamificación como listas de "Top Picker" que muestran el desempeño en tiempo real, fomentando la competencia saludable y el compromiso de los operadores.

Sistemas de clasificación de próxima generación

Los clasificadores modernos alcanzan velocidades superiores a 30 000 unidades por hora con tasas de error mínimas y bajo consumo energético.

Almacenes como servicio (WaaS)

Modelos de negocio emergentes ofrecen automatización bajo esquemas de pago por uso, reduciendo la inversión inicial y permitiendo a empresas de menor escala acceder a tecnologías avanzadas.

La automatización de centros de distribución abarca un espectro de tecnologías que van desde sistemas de transporte y clasificación hasta soluciones de picking asistido y robots autónomos. Cada tecnología ofrece ventajas específicas y responde a distintos perfiles operativos: los clasificadores automáticos destacan en operaciones de alto volumen; los AMR transforman el transporte interno con flexibilidad sin precedentes; el voice picking ofrece productividad con manos libres en entornos desafiantes; el pick-to-light maximiza la velocidad en zonas de alta densidad.

El profesional de la logística debe desarrollar competencias para evaluar estas tecnologías, seleccionar las más adecuadas según el perfil de operación, diseñar arquitecturas de integración coherentes y gestionar proyectos de implementación. La combinación de tecnologías en enfoques híbridos —cada zona con la herramienta óptima— representa la práctica más efectiva en centros de distribución contemporáneos.

Las tendencias hacia la integración de inteligencia artificial, la gamificación, y los modelos de automatización como servicio están transformando el panorama, haciendo que tecnologías antes reservadas para grandes corporaciones sean accesibles para un espectro más amplio de operaciones.

Capítulo 16

Digitalización, IoT, gemelos digitales y CEDIS 4.0

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26006673>



5.3 Digitalización, IoT, gemelos digitales y CEDIS 4.0

La cuarta revolución industrial, conocida como Industria 4.0, ha trascendido el ámbito de la manufactura para permear profundamente en la logística y los centros de distribución. El concepto de CEDIS 4.0 emerge como la materialización de esta transformación: instalaciones donde la digitalización, el Internet de las Cosas (IoT), los gemelos digitales y la inteligencia artificial convergen para crear ecosistemas logísticos inteligentes, autónomos y adaptativos.

Esta sección aborda de manera integral los pilares tecnológicos que definen al CEDIS 4.0, analizando cómo la digitalización de procesos, la sensorización masiva, la simulación avanzada y la toma de decisiones autónoma están redefiniendo los límites de la eficiencia operativa en los centros de distribución contemporáneos.

5.3.1 La digitalización como base del CEDIS 4.0

Definición y alcance de la digitalización logística

La digitalización en el contexto de centros de distribución se refiere a la conversión de procesos, flujos de trabajo y datos físicos en información digital que puede ser almacenada, procesada y analizada en tiempo real. Este proceso va más allá de la simple informatización de tareas; implica una transformación fundamental en la forma en que se gestionan las operaciones.

La evolución tecnológica de los almacenes ha transitado desde sistemas fundamentales como los ASRS y WMS hacia innovaciones más recientes que incluyen AMR, IoT y plataformas de análisis avanzado. Esta progresión refleja una maduración continua de las capacidades digitales en el sector logístico.

Dimensiones de la digitalización en CEDIS

Dimensión	Descripción	Impacto operativo
Digitalización de procesos	Conversión de flujos de trabajo analógicos a digitales	Eliminación de papeleo y reducción de tiempos de ciclo
Digitalización de activos	Sensorización de equipos, productos e infraestructura	Visibilidad en tiempo real y mantenimiento predictivo
Digitalización de decisiones	Uso de datos para automatizar decisiones operativas	Optimización continua y reducción de errores humanos
Digitalización de la fuerza laboral	Herramientas digitales para operadores (<i>wearables</i> y terminales móviles)	Mayor productividad, precisión y seguridad

El caso Nestlé San Sisto: digitalización aplicada

Un caso representativo de digitalización en centros de distribución es el proyecto implementado en el centro de distribución Nestlé San Sisto. Mediante el desarrollo de un "Warehouse Efficiency Dashboard", se logró digitalizar múltiples procesos del almacén, proporcionando mayor visibilidad tanto a la gerencia como a los operadores, y apoyando un cambio de mentalidad hacia la toma de decisiones basada en datos enfocada en oportunidades de mejora.

Este caso ilustra cómo la digitalización no es únicamente una cuestión tecnológica, sino un habilitador de una nueva cultura organizacional orientada a la mejora continua basada en evidencia cuantitativa.

5.3.2 Internet de las Cosas (IoT) en centros de distribución

Fundamentos del IoT logístico

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la red de dispositivos físicos —vehículos, maquinaria, productos, sensores— equipados con electrónica, software, sensores y conectividad que les permite recopilar e intercambiar datos. En el contexto de centros de distribución, el IoT constituye el sistema nervioso sensorial que captura el pulso de las operaciones en tiempo real.

Dispositivos IoT aplicados en CEDIS

Dispositivo	Función	Aplicación típica
Etiquetas RFID	Identificación y localización de productos	Seguimiento de inventario y trazabilidad
Sensores de temperatura/humedad	Monitoreo de condiciones ambientales	Productos perecederos y farmacéuticos
Sensores de vibración	Detección de anomalías en equipos	Mantenimiento predictivo de maquinaria
Sistemas de localización en tiempo real (RTLS)	Seguimiento de activos y personal	Optimización de flujos y seguridad
Sensores de ocupación	Detección de presencia en áreas	Gestión de espacios y seguridad

Aplicaciones del IoT en la operación del CEDIS

Seguimiento de inventario en tiempo real

La integración de IoT en la gestión de almacenes ha permitido transformar el seguimiento de inventarios. Dispositivos como etiquetas RFID y lectores de códigos de barras, combinados con conectividad en la nube, mejoran significativamente la precisión del inventario. Cada producto o tarima puede equiparse con un identificador único que se comunica con lectores IoT instalados en toda la instalación. A medida que los productos se mueven a través de las diferentes zonas, su ubicación y estado se actualizan automáticamente, eliminando la necesidad de conteos manuales y proporcionando visibilidad continua de los niveles de stock.

Monitoreo ambiental y protección de activos

Los productos sensibles, como productos farmacéuticos, alimentos y componentes electrónicos, requieren condiciones ambientales específicas durante el almacenamiento. Las desviaciones en temperatura, humedad o exposición a la luz pueden llevar al deterioro, pérdida o incumplimiento normativo.

El monitoreo ambiental basado en IoT utiliza una red de sensores para rastrear las condiciones clave dentro del almacén. Estos sensores transmiten datos continuamente a sistemas centralizados, donde se establecen umbrales para activar alertas en caso de desviaciones. Este enfoque proactivo

permite a los administradores del almacén tomar medidas correctivas inmediatas, preservando la integridad del producto y reduciendo el desperdicio.

Optimización del layout y utilización del espacio

Mediante el uso de tecnologías IoT como sistemas de localización en tiempo real (RTLS) y sensores de movimiento, los administradores de instalaciones pueden monitorear los patrones de movimiento de trabajadores, vehículos y productos. Estos datos son valiosos para identificar cuellos de botella, optimizar el flujo de tráfico y reasignar zonas de almacenamiento según la frecuencia de uso.

Por ejemplo, los productos de alta rotación pueden reubicarse más cerca de las estaciones de empaque para minimizar el tiempo de desplazamiento. De manera similar, las zonas muertas o estanterías subutilizadas pueden reestructurarse para maximizar la densidad de almacenamiento.

Gestión de la fuerza laboral y seguridad

Las herramientas IoT ayudan a monitorear y respaldar la actividad de la fuerza laboral mientras mejoran los protocolos de seguridad. Los sensores portátiles (wearables) pueden rastrear la ubicación, postura y movimiento de los trabajadores. Estas herramientas ayudan a garantizar el cumplimiento de los procedimientos de seguridad, detectar caídas o fatiga y promover prácticas ergonómicas. En áreas de alto riesgo, los sistemas IoT pueden alertar a los trabajadores sobre peligros como equipos en movimiento o exposición a sustancias nocivas.

Más allá de la seguridad, los datos recopilados de wearables y dispositivos de mano pueden evaluar la productividad laboral, identificar necesidades de capacitación y asignar tareas de manera más efectiva.

Mantenimiento predictivo de equipos

El IoT también permite monitorear la condición de equipos de alto valor. Sensores integrados en bandas transportadoras, montacargas o unidades de refrigeración pueden detectar vibraciones anormales, sobrecalentamiento o desgaste de componentes. El mantenimiento predictivo, habilitado por el aprendizaje automático, ayuda a prevenir costosos tiempos de inactividad al señalar problemas antes de que se agraven.

Beneficios cuantificables del IoT en CEDIS

La adopción de IoT en la gestión de la cadena de suministro está siendo impulsada por la necesidad de mayor transparencia, visibilidad de datos en tiempo real y automatización en las operaciones de almacén. Los beneficios clave incluyen:

- **Precisión de inventario mejorada:** Eliminación de errores de conteo manual.
- **Reducción de desperdicios:** Monitoreo ambiental proactivo.
- **Mayor productividad:** Optimización de layouts y rutas basadas en datos.
- **Menor tiempo de inactividad:** Mantenimiento predictivo de equipos.
- **Seguridad laboral mejorada:** Monitoreo de condiciones de riesgo.

5.3.3 Gemelos digitales (*digital twins*) en logística

Definición y evolución del concepto

Un gemelo digital es una representación virtual de activos, procesos o redes de cadena de suministro físicos que refleja continuamente las condiciones del mundo real utilizando datos en tiempo real. Estos modelos digitales permiten a las empresas simular, monitorear y mejorar las operaciones en toda la cadena de suministro, incluyendo almacenes, flotas y redes de distribución.

La evolución de los gemelos digitales ha sido significativa. Una vez utilizados principalmente para visualización, han madurado hasta convertirse en motores predictivos capaces de simular interrupciones, evaluar opciones y guiar decisiones operativas antes de que los problemas se materialicen.

Crecimiento del mercado de gemelos digitales

El mercado de gemelos digitales en logística ha experimentado un crecimiento exponencial. Alcanzó un valor de \$3.34 mil millones en 2025 y se proyecta que crecerá a \$4.02 mil millones en 2026, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 20,3 %. Se espera que continúe su expansión hasta alcanzar los \$8.34 mil millones en 2030, manteniendo un CAGR del 20 %.

Este crecimiento está siendo impulsado por:

- Iniciativas de automatización de almacenes
- Necesidad de visibilidad integral de la cadena de suministro
- Creciente complejidad de las redes logísticas globales
- Adopción de sensores IoT y telemática
- Presión para reducir los tiempos de entrega

Componentes de un gemelo digital logístico

Componente	Descripción	Fuente de datos
Modelo físico	Representación geométrica y espacial de la instalación	Planos CAD, escaneo láser
Modelo de procesos	Representación de flujos de trabajo y operaciones	WMS, estudios de tiempos
Modelo de datos	Integración de datos operativos en tiempo real	Sensores IoT, RFID, sistemas transaccionales
Motor de simulación	Capacidad de modelar escenarios y predecir resultados	Algoritmos de simulación, IA
Panel de visualización	Interfaz para interactuar con el gemelo	<i>Dashboards</i> , realidad aumentada/virtual

Aplicaciones de gemelos digitales en CEDIS

Simulación y optimización de layouts

Los gemelos digitales permiten a los administradores de almacenes simular y probar cambios en la distribución antes de la implementación física. Mediante la integración de datos en vivo de sistemas de gestión de almacenes, sensores IoT y redes externas, los gemelos digitales ayudan a las organizaciones a probar escenarios, optimizar flujos y fortalecer la resiliencia sin interrumpir las operaciones del mundo real.

Optimización de rutas de picking

Utilizando datos de movimientos reales de operadores y equipos, los gemelos digitales pueden identificar rutas de picking subóptimas y proponer mejoras. La simulación de eventos discretos con software como Autodesk FlexSim permite diseñar layouts de almacenes inteligentes que minimizan el tiempo de desplazamiento de trabajadores y robots.

Planificación de capacidad y escenarios estacionales

Los gemelos digitales permiten a las organizaciones simular diferentes escenarios de demanda y evaluar la capacidad de respuesta del centro de distribución. Esto es particularmente valioso para la planificación de picos estacionales, donde pueden modelarse diferentes estrategias de asignación de recursos antes de comprometer inversiones.

Mantenimiento predictivo avanzado

La combinación de gemelos digitales con datos IoT de equipos permite crear modelos predictivos de fallas. El modelado predictivo de salud de activos (*predictive asset health modeling*) es una de las principales tendencias en el mercado de gemelos digitales logísticos.

Integración con vehículos autónomos y robótica

Los gemelos digitales se integran cada vez más con sistemas autónomos de almacenes y logística. Esta integración permite la optimización en tiempo real de flotas de robots y vehículos autónomos, coordinando sus movimientos dentro del entorno simulado antes de ejecutarlos en el mundo físico.

Tendencias en gemelos digitales logísticos

Las principales tendencias que configuran el mercado de gemelos digitales en logística incluyen:

- 1. Simulación de cadena de suministro en tiempo real:** Capacidad de modelar y optimizar operaciones a medida que ocurren.
- 2. Optimización de almacenes con gemelos digitales:** Enfoque específico en la representación virtual de centros de distribución.
- 3. Planificación de escenarios de flota y rutas:** Simulación de diferentes configuraciones de transporte.
- 4. Modelado predictivo de salud de activos:** Anticipación de fallas antes de que ocurran.
- 5. Visibilidad de inventario y gestión de excepciones:** Seguimiento en tiempo real con capacidades predictivas.
- 6. Modelado de sostenibilidad y huella de carbono:** Evaluación del impacto ambiental de diferentes configuraciones operativas.

5.3.4 El CEDIS 4.0: integración de tecnologías

Definición del CEDIS 4.0

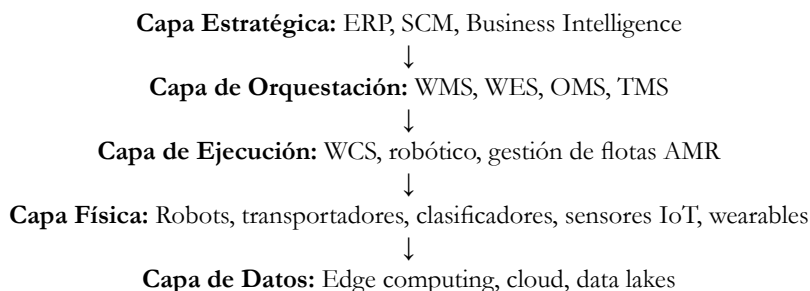
El concepto de CEDIS 4.0 representa la aplicación de los principios de Industria 4.0 al ámbito de los centros de distribución. Se caracteriza por la convergencia de tecnologías físicas y digitales que generan sistemas autónomos, adaptativos y altamente eficientes. El almacenamiento inteligente (smart warehousing) es la evolución de las operaciones de almacén, logrando la optimización de la cadena de suministro con análisis de datos asistidos por IA, pronóstico de demanda, mantenimiento predictivo y gestión automatizada de inventarios a través de robótica avanzada, drones y dispositivos IoT industriales.

Pilares tecnológicos del CEDIS 4.0

Pilar	Tecnologías habilitadoras	Función en el CEDIS 4.0
Conectividad	5G, IoT, redes de sensores	Comunicación ubicua entre dispositivos y sistemas
Inteligencia	IA, <i>Machine Learning</i> y analítica avanzada	Toma de decisiones autónoma y optimización continua
Automatización	Robótica, AGV/AMR, AS/RS y drones	Ejecución física de tareas sin intervención humana
Virtualización	Gemelos digitales, simulación, realidad aumentada	Representación y simulación del entorno físico
Integración	APIs, plataformas en la nube, middleware	Conexión fluida entre sistemas y dispositivos

Arquitectura del CEDIS 4.0

La arquitectura de un centro de distribución 4.0 se organiza en capas que reflejan diferentes niveles de abstracción y control:



Características distintivas del CEDIS 4.0

- 1. Operación autónoma:** Capacidad de ejecutar tareas sin intervención humana, desde la recepción hasta el despacho.
- 2. Toma de decisiones en tiempo real:** Procesamiento de datos en el borde (edge computing) para respuestas inmediatas.
- 3. Adaptabilidad dinámica:** Reconfiguración automática de procesos ante cambios en la demanda o condiciones operativas.
- 4. Visibilidad integral:** Conocimiento en tiempo real de la ubicación, estado y condición de cada producto y activo.
- 5. Aprendizaje continuo:** Los sistemas mejoran su desempeño mediante algoritmos de machine learning que aprenden de datos históricos.
- 6. Resiliencia predictiva:** Capacidad de anticipar y mitigar interrupciones antes de que afecten la operación.

Beneficios del CEDIS 4.0

Beneficio	Descripción	Impacto típico
Precisión	Reducción de errores en <i>picking</i> , inventario y despacho	Tasas de error < 99,9 % de precisión
Eficiencia	Aceleración de procesos de picking, empaque y envío	Reducción de tiempos de ciclo del 20 - 50 %
Transparencia	Visibilidad operativa para la toma de decisiones	Mejora en la comunicación con proveedores y clientes
Reducción de costos	Disminución de costos operativos y de pérdidas	ROI positivo en 2-4 años
Satisfacción del cliente	Mayor confiabilidad en disponibilidad y tiempos de entrega	Mejora en métricas de servicio al cliente

5.3.5 Integración de IoT y gemelos digitales

La convergencia de IoT y gemelos digitales representa una sinergia particularmente poderosa en el contexto del CEDIS 4.0. El IoT proporciona los datos en tiempo real que alimentan al gemelo digital; el gemelo digital, a su vez, utiliza esos datos para crear una representación dinámica y precisa del mundo físico.

Flujo de información integrado

Sensores IoT → Datos en tiempo real → Gemelo digital → Simulación y análisis → Decisiones optimizadas → Actuadores IoT → Acciones en el mundo físico

Esta integración permite casos de uso avanzados como:

- **Simulación de escenarios "what-if":** Evaluar el impacto de cambios operativos antes de implementarlos.
- **Detección temprana de anomalías:** Comparar el comportamiento real con el modelo predictivo.
- **Optimización continua:** Ajustar parámetros operativos basados en la retroalimentación del gemelo.

Ejemplo: optimización de flujo de picking

En un CEDIS 4.0 equipado con IoT y gemelo digital, el sistema puede:

1. Monitorear en tiempo real la posición de operadores y productos (IoT).
2. Identificar congestionamientos o rutas subóptimas (análisis).
3. Simular diferentes asignaciones de tareas en el gemelo digital.
4. Implementar la solución óptima en el mundo físico.
5. Aprender de los resultados para futuras optimizaciones (*machine learning*).

5.3.6 Tendencias emergentes en CEDIS 4.0

Inteligencia artificial generativa en logística

La incorporación de inteligencia artificial generativa está abriendo nuevas posibilidades en la gestión de centros de distribución. Los sistemas de IA

pueden ahora generar planes operativos, pronósticos de demanda y estrategias de optimización con un nivel de sofisticación sin precedentes. Las principales empresas tecnológicas están desarrollando soluciones avanzadas de IA para gemelos digitales, permitiendo la creación de réplicas virtuales inteligentes de operaciones logísticas.

Computación en el borde (edge computing) para IoT

La computación en el borde acerca el procesamiento de datos a los dispositivos IoT, reduciendo la latencia y permitiendo decisiones en tiempo real sin depender de la conectividad a la nube. Esto es particularmente importante para aplicaciones sensibles a la latencia, como la coordinación de robots autónomos o la detección de condiciones de seguridad.

5G y conectividad avanzada

El despliegue de redes 5G promete latencia ultrabaja y mayor ancho de banda, lo que permitirá una nueva generación de aplicaciones IoT en centros de distribución, incluyendo control remoto de equipos, realidad aumentada de baja latencia y comunicaciones masivas entre dispositivos.

Sostenibilidad impulsada por gemelos digitales

Los gemelos digitales están siendo utilizados cada vez más para modelar la huella de carbono de las operaciones logísticas y evaluar el impacto ambiental de diferentes configuraciones operativas. El modelado de sostenibilidad y huella de carbono es una de las tendencias emergentes en el mercado de gemelos digitales para cadena de suministro.

Almacenes como servicio (Warehouse as a Service - WaaS)

Modelos de negocio emergentes ofrecen capacidades de CEDIS 4.0 bajo esquemas de suscripción o pago por uso, democratizando el acceso a tecnologías avanzadas que antes estaban reservadas para grandes corporaciones.

5.3.7 Desafíos en la implementación del CEDIS 4.0

Ciberseguridad y gobernanza de datos

La proliferación de dispositivos conectados aumenta la superficie de ataque para actores maliciosos. Un solo sensor comprometido podría proporcionar un punto de entrada a toda la red. Para mitigar estos riesgos, las organizaciones deben adoptar marcos de ciberseguridad robustos que incluyan protocolos de comunicación encriptados, mecanismos de autenticación de dispositivos y actualizaciones periódicas de firmware.

Escalabilidad e interoperabilidad

Para que las soluciones IoT entreguen valor a largo plazo en almacenes, deben ser escalables e interoperables. Un desafío común es la naturaleza fragmentada de los ecosistemas IoT, donde dispositivos de diferentes proveedores utilizan protocolos propietarios o formatos de datos incompatibles.

Las organizaciones deben priorizar estándares abiertos y plataformas de middleware que faciliten la comunicación entre dispositivos. La infraestructura basada en la nube y las integraciones API permiten un intercambio de datos más fluido entre sensores, sistemas de control y software empresarial.

Brecha digital y capacitación

La transición hacia el CEDIS 4.0 requiere nuevas competencias en la fuerza laboral. La investigación sobre la brecha tecnológica en almacenes ha identificado la necesidad de desarrollar habilidades en análisis de datos, gestión de sistemas automatizados y ciberseguridad.

Inversión inicial y retorno de inversión

La implementación de tecnologías IoT y gemelos digitales requiere inversiones significativas en hardware, software y servicios de integración. Las organizaciones deben desarrollar casos de negocio sólidos que consideren no solo los beneficios directos (reducción de costos, aumento de produc-

tividad), sino también los beneficios indirectos (mejora en la satisfacción del cliente, reducción de riesgos).

La digitalización, el Internet de las Cosas, los gemelos digitales y el concepto de CEDIS 4.0 representan la frontera tecnológica en la evolución de los centros de distribución. Estas tecnologías, que antes eran consideradas innovaciones de vanguardia, se están convirtiendo rápidamente en estándares competitivos en industrias como el retail, el comercio electrónico y la manufactura avanzada.

La digitalización constituye la base sobre la cual se construyen las capacidades avanzadas, transformando procesos analógicos en flujos de información digital que pueden ser analizados y optimizados. El IoT proporciona el sistema nervioso sensorial que captura el pulso de las operaciones en tiempo real, desde la ubicación de productos hasta las condiciones ambientales y el estado de los equipos. Los gemelos digitales elevan esta capacidad al permitir la simulación, predicción y optimización de escenarios complejos antes de implementarlos en el mundo físico.

El CEDIS 4.0 emerge de la integración sinérgica de estas tecnologías, creando ecosistemas logísticos inteligentes que operan con niveles de precisión, eficiencia y adaptabilidad sin precedentes. Los centros de distribución del futuro no serán simplemente lugares donde se almacenan productos; serán sistemas ciberfísicos donde la información fluye tan libremente como los materiales, donde las decisiones se toman en tiempo real basadas en datos, y donde la capacidad de aprender y adaptarse es tan importante como la capacidad de ejecutar.

El profesional de la logística que aspire a liderar en esta nueva era debe desarrollar competencias no solo en los fundamentos tradicionales de la gestión de almacenes, sino también en la comprensión de estas tecnologías emergentes, su integración y su aplicación estratégica. El futuro de los centros de distribución ya está aquí, y está siendo construido sobre los pilares de la digitalización, el IoT y los gemelos digitales.

Glosario

A

AGV (automated guided vehicle) – Vehículo guiado automáticamente. Equipo de transporte que se desplaza siguiendo infraestructura fija como cintas magnéticas, cables o marcas en el piso. A diferencia de los AMR, no posee capacidad de navegación autónoma.

Almacenamiento dinámico – áreas del centro de distribución donde los productos están en movimiento constante o tienen alta rotación, como zonas de picking, empaque y consolidación. Prioriza la accesibilidad sobre la densidad.

Almacenamiento estático – áreas donde los productos permanecen almacenados por periodos prolongados, como zonas de reserva o productos de baja rotación. Prioriza la densidad sobre la accesibilidad.

Almacenamiento en bloque (block stacking) – sistema de almacenamiento donde los productos se apilan directamente sobre el piso sin utilizar estanterías. Adecuado para productos uniformes y apilables.

AMR (autonomous mobile robot) – robot móvil autónomo. Equipo con capacidad de navegación autónoma mediante sensores, cámaras y software de localización y mapeo simultáneos (SLAM), sin necesidad de infraestructura fija.

Análisis ABC – metodología de clasificación de productos según su importancia relativa, generalmente basada en volumen de movimiento o valor. Los productos "a" representan alta rotación/valor, "b" rotación/valor media, "c" baja rotación/valor.

Análisis de redes logísticas – metodología para optimizar la configuración de la red de distribución, considerando número, ubicación y capacidad de los centros de distribución, así como los flujos de materiales entre proveedores, plantas, CEDIS y clientes.

AS/RS (automated storage and retrieval system) – sistema automatizado de almacenamiento y recuperación. Tecnología que utiliza grúas o vehículos automatizados para depositar y extraer productos de estructuras de alta densidad, operando sin intervención humana directa.

B

B2B (business to business) – Modelo de negocio donde las transacciones comerciales ocurren entre empresas. En logística, se refiere típicamente al abastecimiento de tiendas físicas o clientes corporativos.

B2c (business to consumer) – Modelo de negocio donde las transacciones comerciales ocurren directamente entre la empresa y el consumidor final. En logística, se asocia con operaciones de comercio electrónico.

Batch picking (picking por lote) – Estrategia de preparación de pedidos donde un operador recoge múltiples pedidos simultáneamente en un mismo recorrido, consolidando después los productos en cada pedido.

Bottleneck (cuello de botella) – Recurso o proceso con menor capacidad en un sistema, que limita el throughput total de la instalación.

C

Capacidad operativa – Volumen máximo de trabajo que puede ser procesado por un centro de distribución en un período determinado, bajo condiciones normales de operación y con los recursos disponibles.

Cedis – Acrónimo de centro de distribución. Instalación logística donde se reciben, almacenan y distribuyen productos hacia clientes o puntos de venta, actuando como nodo central en la cadena de suministro.

Cedis 4.0 – Concepto que representa la aplicación de los principios de Industria 4.0 A los centros de distribución, caracterizado por la convergencia de digitalización, IoT, gemelos digitales, automatización avanzada e inteligencia artificial.

Centro de gravedad – Método de localización que determina la ubicación óptima para una instalación minimizando los costos de transporte, basado en un principio físico de equilibrio de fuerzas ponderadas por volúmenes y distancias.

Clasificador (sorter) – Sistema automatizado que identifica, direcciona y enruta artículos hacia su destino correcto dentro del centro de distribución. Existen clasificadores de banda cruzada (cross belt), bandeja basculante (tilt tray) y línea (line sorter), entre otros.

Cross-docking – Estrategia operativa donde los productos recibidos son transferidos directamente desde la plataforma de recepción hacia la plataforma de despacho, con mínimo o nulo almacenamiento intermedio.

Cross belt sorter (clasificador de banda cruzada) – Tipo de clasificador donde los productos se transportan en carros equipados con bandas transversales que descargan los artículos en los destinos asignados. Capacidad de hasta 30,000 unidades por hora.

D

Demanda omnicanal – Patrón de demanda que combina flujos hacia tiendas físicas (B2B) y hacia consumidores finales (B2B), requiriendo centros de distribución con capacidad para atender ambos tipos de operación simultáneamente.

Digital twin (gemelo digital) – Representación virtual de activos, procesos o redes de cadena de suministro físicos que refleja continuamente las condiciones del mundo real utilizando datos en tiempo real, permitiendo simulación, monitoreo y optimización.

Digitalización – Proceso de conversión de procesos, flujos de trabajo y datos físicos en información digital que puede ser almacenada, procesada y analizada en tiempo real.

E

ERP (enterprise resource planning) – Sistema de información corporativo que integra la gestión financiera, contable, recursos humanos, compras, ventas y otras funciones administrativas de la organización. Actúa como el "sistema de registro" financiero.

Estacionalidad – Patrones de demanda que se repiten de manera predecible en intervalos regulares, asociados a factores como calendario festivo, ciclos climáticos o eventos comerciales.

Estanterías selectivas – Sistema de almacenamiento de acceso directo a cada unidad de carga, caracterizado por su versatilidad y bajo costo relativo. Configuración más utilizada en centros de distribución.

F

Factor de pico (peak factor) – Relación entre la demanda máxima esperada y la demanda promedio. Utilizado para dimensionar capacidad que pueda atender períodos de alta demanda.

FIFO (first in, first out) – Principio de gestión de inventarios donde los primeros productos en entrar son los primeros en salir. Aplicable a productos con fecha de caducidad o donde se requiere rotación controlada.

Flow rack – Sistema de almacenamiento por gravedad donde los productos se reponen por la parte trasera y se extraen por la parte frontal. Adecuado para productos de alta rotación.

G

Gemelo digital (digital twin) – Véase digital twin.

Goods-to-person – Principio de automatización donde los productos son transportados hacia el operador en lugar de que el operador se desplace hacia los productos. Implementado mediante AMR, carruseles o sistemas AS/RS.

I

Industria 4.0 – Cuarta revolución industrial, caracterizada por la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas, incluyendo IoT, inteligencia artificial, robótica avanzada y gemelos digitales.

Internet de las cosas (IoT) – Red de dispositivos físicos equipados con electrónica, software, sensores y conectividad que les permite recopilar e intercambiar datos. En logística, constituye el sistema sensorial que captura información en tiempo real.

Inventario de seguridad – Existencias adicionales mantenidas para cubrir la variabilidad en la demanda o en los tiempos de aprovisionamiento, protegiendo contra desabastos.

Isócrona – Línea que conecta puntos con igual tiempo de viaje desde un origen. Utilizada en análisis de localización para evaluar cobertura territorial.

L

Layout – Disposición física de las zonas funcionales, equipos, pasillos y áreas de trabajo dentro de un centro de distribución.

LIFO (last in, first out) – Principio de gestión de inventarios donde los últimos productos en entrar son los primeros en salir. Aplicable en sistemas drive-in o donde la rotación no es crítica.

Línea de pedido (order line) – Unidad de medida en la preparación de pedidos que representa cada SKU individual solicitado en un pedido. Una orden puede contener múltiples líneas.

M

Microfulfillment center – Centro de distribución de pequeña escala ubicado en zonas urbanas, diseñado para entregas de última milla en tiempos reducidos (mismo día o menos de 24 horas).

MILP (mixed integer linear programming) – Programación lineal entera mixta. Metodología de optimización matemática utilizada para problemas de localización donde algunas variables son discretas (abrir o no una instalación) y otras continuas (flujos de transporte).

Muelle de carga – Bahía o plataforma donde los vehículos se posicionan para realizar operaciones de carga o descarga de mercancías.

N

NOM (Norma Oficial Mexicana) – Disposición técnica de cumplimiento obligatorio emitida por dependencias federales en México. En centros de distribución, aplican nom. de seguridad, instalaciones eléctricas, protección civil, entre otras.

O

Omnicanalidad – Estrategia comercial que integra múltiples canales de venta (tiendas físicas, e-commerce, catálogo) en una experiencia unificada para el cliente, requiriendo capacidades logísticas integradas.

OMS (Order Management System) – Sistema de gestión de órdenes. Plataforma que orquesta el cumplimiento de pedidos multicanal, determinando la mejor fuente de inventario (cedis, tienda, proveedor) para cada orden.

Order streaming – Procesamiento continuo de pedidos a medida que llegan, en contraste con el procesamiento por oleadas. Permite mayor capacidad de respuesta, pero requiere recursos flexibles.

P

Pasillo muy estrecho (VNA - very narrow aisle) – Configuración de pasillos con ancho de 1.6 A 2.0 metros, utilizada con montacargas especializados que operan con guía para maximizar la densidad de almacenamiento.

Pick-to-light – Sistema de picking asistido que utiliza luces LED y displays numéricos montados en las ubicaciones de almacenamiento para guiar al operador. Alta velocidad y precisión.

Picking – Proceso de extracción de productos de las ubicaciones de almacenamiento para conformar los pedidos de los clientes.

Picking por zona – Estrategia donde el almacén se divide en zonas, y cada operador pickea exclusivamente en su zona asignada. Los pedidos se consolidan posteriormente.

Programa interno de protección civil (PIPC) – Documento obligatorio que establece las directrices y acciones a seguir en caso de emergencia, incluyendo evaluación de riesgos, planes de respuesta y protocolos de evacuación.

Put wall – Estación de clasificación con compartimentos (usualmente con iluminación) donde se consolidan productos de múltiples pedidos pickeados en lote, guiando al operador sobre qué producto colocar en cada compartimento.

R

Racks drive-in/drive-thru – Sistemas de almacenamiento de alta densidad donde el equipo de manejo ingresa dentro de la estructura para depositar o extraer tarimas. Drive-in opera LIFO con un solo acceso; drive-thru permite FIFO con dos accesos.

RFID (radio frequency identification) – Tecnología de identificación por radiofrecuencia que permite la identificación y seguimiento de productos mediante etiquetas que transmiten datos a lectores sin necesidad de línea de visión directa.

RTLS (real-time location system) – Sistema de localización en tiempo real que permite rastrear la posición de activos, productos o personal dentro de una instalación mediante tecnologías como RFID, Wi-Fi o UWB.

S

SKU (stock keeping unit) – Unidad de mantenimiento de stock. Identificador único asignado a cada producto o variante de producto para su gestión y seguimiento en el inventario.

Slotting – Proceso de asignación óptima de productos a ubicaciones de almacenamiento dentro del centro de distribución, considerando su rotación, dimensiones y características.

S&OP (Sales and Operations Planning) – Proceso de planificación integrada que alinea las áreas de ventas, marketing, operaciones y finanzas para equilibrar la demanda y la capacidad a mediano plazo.

T

Throughput – Volumen de producto procesado por un sistema o recurso en un período determinado. Medida clave de capacidad operativa.

Tilt tray sorter (clasificador de bandeja basculante) – Tipo de clasificador donde los productos se transportan en bandejas que se inclinan para deslizar

los artículos a las rampas de destino. Adecuado para productos planos y prendas de vestir.

TMS (Transportation Management System) – Sistema de gestión de transporte. Plataforma especializada en la planificación, ejecución y optimización del transporte de mercancías hacia y desde el centro de distribución.

Costo total a servir (TCTS) – Metodología para calcular los costos totales incurridos en cada etapa de la cadena de suministro, desde el proveedor hasta el cliente final, desagregando costos de transporte, almacenamiento y manejo por SKU, cliente y canal.

U

Uso de suelo – clasificación legal que determina qué actividades pueden realizarse en un predio. Para centros de distribución, es crítico obtener uso de suelo industrial o mixto que permita operaciones logísticas.

V

Voice picking – Tecnología de picking asistido que utiliza reconocimiento de voz para comunicar instrucciones al operador a través de auriculares. Permite manos y ojos libres, ideal para entornos desafiantes.

W

Wave picking (picking por oleada) – Estrategia donde los pedidos se agrupan en oleadas (por ejemplo, por hora de salida) y se procesan simultáneamente. Permite sincronización con ventanas de despacho.

WCS (Warehouse Control System) – Sistema de control de almacén. Plataforma responsable de coordinar y controlar los equipos automatizados de manejo de materiales (transportadores, clasificadores, robots) dentro del centro de distribución.

WES (Warehouse Execution System) – Sistema de ejecución de almacén. Plataforma que combina funcionalidades de WMS y WCS, orquestando tanto tareas de operadores humanos como movimientos de equipos automatizados.

WMS (Warehouse Management System) – Sistema de gestión de almacenes. Plataforma central que gestiona y controla las operaciones diarias del centro de distribución, incluyendo recepción, almacenamiento, picking, empaque, despacho y gestión de inventarios.

Y

YMS (yard management system) – Sistema de gestión de patio. Plataforma que gestiona el patio de maniobras exterior al centro de distribución, incluyendo seguimiento de remolques, asignación de muelles y programación de citas.

Z

Zona de abasto – Territorio geográfico desde el cual el centro de distribución capta sus productos (zona de abastecimiento) y al cual los distribuye (zona de mercado). Su delimitación es fundamental para la localización y dimensionamiento.

Zona de picking – Área del centro de distribución donde se conforman los pedidos de los clientes, extrayendo productos de las ubicaciones de almacenamiento.

Bibliografías y referencias

Capítulo 1

- Ahmad, m., Soomro, a., Asim, i., y Phalgun, p. (2025). Distribution network 2028. *Experiential learning project, iba karachi*. <https://ir.Iba.Edu.Pk/sbselp/85>
- Anchanto. (2026). *Powering gcc expansion: how tpm built a unified commerce and distribution backbone*. Case study. <https://anchanto.Com/en-my/tpm-gcc-expansion-with-anchanto/>
- Fortna. (2025). *Omnichannel processing increases capacity: the foschini group*. Warehouse y logistics news. <https://warehousenews.Co.Uk/2025/06/omnichannel-processing-increases-capacity/>
- Gainsystems. (2025). *Supply chain design: balancing cost, service y growth*. <https://gainsystems.Com/blog/smarter-supply-chain-design-balancing-cost-service-and-growth/>
- Miebach consulting. (2024). *Case study: fashion retailer distribution network*. <https://www.Miebach.Com/ch/en/news-and-resources/news-and-publications/2024/case-study-fashion-retailer-distribution-network>
- Miebach consulting. (2025). *Strategic inventory placement: a retail case study with tcts models*. <https://www.Miebach.Com/cn/en/what-we-do/strategy/inventory-management/strategic-inventory-placement>
- Relex solutions. (2025). *Case study: cia conad — scaling operations through intelligent automation and strategic replenishment*. <https://www.Relexsolutions.Com/resources/case-study-cia-conad/>
- Singapore management university. (2024). *Direct to market or centralised distribution? A regional supply chain optimisation strategy* (case no. Smu-24-0026). https://ink.Library.Smu.Edu.Sg/cases_coll_all/506/
- Singapore management university. (2024). *Direct to market or centralised distribution? A regional supply chain optimisation strategy* (case no. 153smu). Harvard business review. <https://store.Hbr.Org/product/direct-to-market-or-centralised-distribution-a-regional-supply-chain-optimisation-strategy/153smu>

Singapore management university. (2024). *Direct to market or centralised distribution? A regional supply chain optimisation strategy, teaching note* (case no. 154smu). Harvard business publishing education.

Capítulo 2

- Armstrong, j. S. (2001). *Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners*. Kluwer academic publishers.
- Ballou, r. H. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro* (5ª ed.). Pearson educación.
- Chopra, s., y Meindl, p. (2016). *Supply chain management: strategy, planning, and operation* (7th ed.). Pearson.
- Coyle, j. J., Langley, c. J., Novack, r. A., y Gibson, b. J. (2017). *Supply chain management: a logistics perspective* (10th ed.). Cengage learning.
- Daskin, m. S. (2013). *Network and discrete location: models, algorithms, and applications* (2nd ed.). Wiley.
- Francis, r. L., McGinnis, l. F., y White, j. A. (1992). *Facility layout and location: an analytical approach* (2nd ed.). Prentice hall.
- García, j. L., y Alvarado, a. (2020). "Métodos de pronóstico de demanda para la planeación de centros de distribución". *Revista de logística y cadena de suministro*, 12(3), 45-62.
- García-arca, j., Prado-prado, j. C., y González-portela garrido, a. (2018). "Location logistics in supply chain management: a systematic literature review". *Dirección y organización*, 66, 5-15.
- Hyndman, r. J., y Athanasopoulos, g. (2021). *Forecasting: principles and practice* (3rd ed.). Otexts.
- Laporte, g., Nickel, s., y Saldanha da gama, f. (2019). *Location science* (2nd ed.). Springer.
- Makridakis, s., Wheelwright, s. C., y Hyndman, r. J. (2008). *Forecasting methods and applications* (3rd ed.). Wiley.
- Melo, m. T., Nickel, s., y Saldanha da gama, f. (2009). Facility location and supply chain management: a review. *European journal of operational research*, 196(2), 401-412.
- Revelle, c. S., y Eiselt, h. A. (2005). Location analysis: a synthesis and survey. *European journal of operational research*, 165(1), 1-19.

- Saaty, t. L. (2008). "Decision making with the analytic hierarchy process". *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Silver, e. A., Pyke, d. F., y Peterson, r. (2016). *Inventory management and production planning and scheduling* (4th ed.). Wiley.
- Simchi-levi, d., Kaminsky, p., y Simchi-levi, e. (2021). *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case studies* (5th ed.). McGraw-hill.
- Stevenson, w. J. (2018). *Operations management* (13th ed.). McGraw-hill.

Capítulo 3

- Bartholdi, j. J., y Hackman, s. T. (2019). *Warehouse y distribution science* (2nd ed.). Supply chain and logistics institute, georgia tech.
- Bozer, y. A., y White, j. A. (2020). "Design of order picking systems". En handbook of material handling. Wiley.
- De koster, r., Le-duc, t., y Roodbergen, k. J. (2007). "Design and control of warehouse order picking: a literature review". *European journal of operational research*, 182(2), 481-501.
- Frazelle, e. (2016). *World-class warehousing and material handling* (2nd ed.). McGraw-hill.
- Gagliardi, j. P., Renaud, j., y Ruiz, a. (2012). "Models for automated storage and retrieval systems: a literature review". *International journal of production research*, 50(18), 5110-5125.
- Goldsby, t. J., y Martichenko, r. (2020). *Lean six sigma logistics: a practitioner's guide to performance improvement*. J. Ross publishing.
- Groover, m. P. (2020). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (5th ed.). Pearson.
- Gue, k. R. (2021). "Warehouse layout and design". En handbook of material handling. Wiley.
- Mulcahy, d. E., y Sydow, j. (2018). *Warehouse y distribution automation handbook*. McGraw-hill.
- Roodbergen, k. J., y Vis, i. F. A. (2009). "A survey of literature on automated storage and retrieval systems". *European journal of operational research*, 194(2), 343-362.
- Rushton, a., Croucher, p., y Baker, p. (2017). *The handbook of logistics and distribution management* (6th ed.). Kogan page.

- Tompkins, j. A., White, j. A., Bozer, y. A., y Tanchoco, j. M. A. (2010). *Facilities planning* (4th ed.). Wiley.
- Van den berg, j. P., y Zijm, w. H. M. (1999). "Models for warehouse management: classification and examples". *International journal of production economics*, 59(1-3), 519-528.
- Vasel, j. (2020). "Material flow optimization in warehouses". *Logistics journal*, 2020(1), 1-12.

Capítulo 4

- Bartholdi, j. J., y Hackman, s. T. (2019). *Warehouse y distribution science* (2nd ed.). Supply chain and logistics institute, georgia tech.
- Frazelle, e. (2016). *World-class warehousing and material handling* (2nd ed.). McGraw-hill.
- Goldratt, e. M., y Cox, j. (2016). *The goal: a process of ongoing improvement* (30th anniversary ed.). North river press.
- Goldsby, t. J., y Martichenko, r. (2020). *Lean six sigma logistics: a practitioner's guide to performance improvement*. J. Ross publishing.
- Hyndman, r. J., y Athanasopoulos, g. (2021). *Forecasting: principles and practice* (3rd ed.). Otexts.
- Mulcahy, d. E., y Sydow, j. (2018). *Warehouse y distribution automation handbook*. McGraw-hill.
- Rushton, a., Croucher, p., y Baker, p. (2017). *The handbook of logistics and distribution management* (6th ed.). Kogan page.
- Silver, e. A., Pyke, d. F., y Peterson, r. (2016). *Inventory management and production planning and scheduling* (4th ed.). Wiley.
- Tompkins, j. A., White, j. A., Bozer, y. A., y Tanchoco, j. M. A. (2010). *Facilities planning* (4th ed.). Wiley.
- Torres, f. J. y Araujo, g. (2026). *Manejo de materiales: fundamentos y aplicaciones logísticas* (1st ed.). Astra editorial

Capítulo 5

- Araujo, g. y Torres, f. J. (2026). *Administración de centros de distribución: modelos, tecnología y sostenibilidad* (1st ed.). Astra editorial

- Beumer group. (2026). *¿Qué es un sistema de clasificación?*. <https://www.Beumergroup.Com/es/knowledge/almacen-distribucion/glosario-sistema-de-clasificacion/>
- Element logic. (2024). *Manejo de materiales*. <https://www.Elementlogic.Net/cl/soluciones-y-servicios/manejo-de-materiales/>
- Hy-tek intralogistics y western computer. (2025). *Hy-tek and western computer partner to advance warehouse execution in microsoft ecosystem*. Modern materials handling. https://www.Mmh.Com/article/hy_tek_and_western_computer_partner_to_advance_warehouse_execution_in_microsoft_ecosystem/warehouse_management_systems
- Melss. (2025). *Sixdime-pik2lite - smart pick-to-light system*. <https://www.Melss.Com/sixdime-pik2lite/>
- Toyota material handling. (2024). *Almacenes automatizados: qué son, tipos y beneficios para optimizar tu operativa logística*. <https://blog.Toyota-forklifts.Es/almacenes-automatizados-tipos-ventajas>
- Mobile industrial robots. (2026). *Your amr journey begins here*. <https://mobile-industrial-robots.Com/your-amr-journey>
- Westernacher consulting. (2025). *How amrs are reshaping warehouses*. <https://westernacher.Com/how-amr-are-reshaping-warehouses/>
- Aktiva info. (2025). *Integrating wms with erp, tms and other systems – best practices and common pitfalls*. <https://www.Aktiva-info.Com/en/integrating-wms-with-erp-tms-and-other-systems-best-practices-and-common-pitfalls/>
- Cleverence. (2026). *Pick-to-light vs voice picking vs rf scanning: how to choose the right warehouse picking system*. <https://www.Cleverence.Com/articles/3pl-business/pick-to-light-vs-voice-picking-vs-rf-scanning-best-system-4829/>
- Deposco. (2023). *What are the best types of warehouse software for your company? It's complicated*. <https://deposco.Com/blog/which-warehouse-software-do-you-need-its-complicated/>
- Iiot world. (2025). *From apis to digital twins: warehouse integration strategies for smarter supply chains*. <https://www.Iiot-world.Com/smart-manufacturing/process-manufacturing/warehouse-integration-2025/>
- Lot for all. (2025). *Leveraging iot technologies to improve supply chain management in warehousing*. <https://www.Iotforall.Com/iot-supply-chain-warehousing>

- Mendes, c. (2025). *Understanding the types of warehouse management systems and strategic impact*. Smartloadinghub. <https://www.Smartloadinghub.Com/insights/warehouse-robotics/understanding-types-warehouse-management-systems-strategic/>
- Peeklogic connector. (2026). *Supply chain integration: align scm, logistics, and partners*. <https://www.Peeklogic-connector.Com/blog/supply-chain-integration-aligning-scm/>
- Autodesk. (2025). Smart warehousing. *Supply chain optimization with ai*. <https://www.Autodesk.Com/solutions/design-manufacturing/smart-warehousing>
- It brief australia. (2025). *Melbourne y adelaide cold storage sites adopt dematic voice tech*. <https://itbrief.Com.Au/story/melbourne-adelaide-cold-storage-sites-adopt-dematic-voice-tech>
- Logistics matters. (2025). *Voice picking baked in*. <https://www.Logisticsmatters.Co.Uk/product/voice-picking-baked-in/>

Referencias complementarias

- Christopher, m. (2016). *Logistics y supply chain management* (5th ed.). Pearson.
- Congenius. (2026). *Requisitos de protección civil para empresas: guía esencial en México*. <https://congenius.Com.Mx/requisitos-de-proteccion-civil-para-empresas-guia-esencial-en-mexico/>
- Harrison, a., y Van hoek, r. (2019). *Logistics management and strategy: competing through the supply chain* (6th ed.). Pearson.
- Hugos, m. (2018). *Essentials of supply chain management* (4th ed.). Wiley.
- Koltek. (2025). ¿Qué exige la nom-002-stps en sistemas contra incendios? <https://koltek.Mx/blog/nom-002>
- Libertad digital. (2026). *México 2026: la consolidación de los parques industriales frente a la saturación logística de asia*. <https://www.Libertaddigital.Com/libremercado/2026-03-04/mexico-2026-la-consolidacion-de-los-parques-industriales-frente-a-la-saturacion-logistica-de-asia-1b-7368739/>
- Mangan, j., Lalwani, c., y Lalwani, c. (2016). *Global logistics and supply chain management* (3rd ed.). Wiley.
- Secretaría de Energía. (2012). *NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones eléctricas (utilización)*. Diario Oficial de la Federación.

- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (1998). *NOM-005-STPS-1998, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2008). *NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal - Selección, uso y manejo en los centros de trabajo*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2010). *NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad - Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2011). *NOM-009-STPS-2011, Condiciones de seguridad para realizar trabajos en altura*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2011). *NOM-020-STPS-2011, Recipientes sujetos a presión y calderas - Funcionamiento - Condiciones de seguridad*. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2014). *NOM-006-STPS-2014, Manejo y almacenamiento de materiales - Condiciones de seguridad en el trabajo*. Diario Oficial de la Federación.
- Piedepiano. (2026). *Reglamento de construcciones para el distrito federal*. <https://piedepiano.Com/2026/01/01/reglamento-de-construcciones-para-el-distrito-federal/>
- Rushton, a., Croucher, p., y Baker, p. (2017). *The handbook of logistics and distribution management* (6th ed.). Kogan page.
- Vázquez, m. (2026). *América latina y los retos de parques industriales e infraestructura para 2026*. Inmobiliare. <https://inmobiliare.Com/retos-infraestructura-industrial-america-latina/>

Planeación y desarrollo de centros de distribución: Enfoque integral

Se terminó de imprimir en octubre 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

www.astraeditorialshop.com

Impresión digital con interiores en papel bond 75g.

portada en pasta suave

El tiraje consta de 100 ejemplares



El presente libro no solo es un compendio de conocimientos técnicos y estratégicos sobre la planeación, diseño e instalación de Centros de Distribución; es, ante todo, una herramienta de formación diseñada pensando en ustedes: los futuros profesionales que asumirán el reto de liderar proyectos logísticos en un entorno cada vez más complejo, digitalizado y demandante.

Cuando un egresado de ingeniería industrial, administración, logística o carreras afines se enfrenta al mundo laboral, una de las áreas donde se concentran las mayores oportunidades — y también los mayores desafíos — es en la gestión de instalaciones logísticas. Las empresas no buscan solo teóricos; requieren profesionales capaces de diagnosticar, diseñar, ejecutar y optimizar centros de distribución que operen con eficiencia, calidad y visión de futuro. Este libro ha sido concebido para formar exactamente ese perfil.

ISBN: 979-13-88349-52-2



9 791388 134952 2



Consulta y descarga

