



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR

Optimización operativa y automatización en un centro de distribución de retail

Valentina Cuñetti
Florencia Torriglia
Felipe Jorcin

Proyecto de grado presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en cumplimiento parcial de los requerimientos para la obtención del título de Ingeniería de Producción.

Tutor

Adrián Ferrari

Tribunal

Gerardo Gazzano
Libertad Tansini

Montevideo, Uruguay
Junio de 2025

Agradecimientos

En primer lugar, queremos expresar nuestro agradecimiento a nuestro tutor, Adrián Ferrari, por brindarnos la oportunidad de participar en un proyecto sumamente interesante y enriquecedor, que nos permitió aplicar de manera transversal los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera.

Asimismo, le agradecemos por su constante apoyo y motivación durante todo el proceso.

También queremos agradecer a la contraparte por abrirnos sus puertas, en especial a Roberto González y Arturo Ortelli por su guía y respaldo, colaboración en la provisión de datos y sus valiosas sugerencias.

Por último, pero no menos importante, a nuestros familiares y amigos, por su apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera y por sus aportes durante el desarrollo de este proyecto.

Resumen

El presente proyecto aborda un caso de estudio sobre la optimización operativa y la automatización en un centro de distribución de retail, con el objetivo de mejorar la eficiencia en la gestión logística y el abastecimiento de productos a sucursales. El problema identificado radica en la creciente complejidad del abastecimiento en redes de sucursales con limitaciones de espacio, las nuevas tendencias en la cadena de suministro y la necesidad de incorporar sistemas automatizados.

Para abordar este desafío, en primer lugar se define el método óptimo de abastecimiento para cada producto, aplicando criterios cuantitativos. Esto implica determinar si se mantiene stock o se abastece mediante cross-docking, así como establecer si se distribuye en unidades, caja inner o caja master. Posteriormente, se evalúan cuatro alternativas de operación: una manual, dos híbridas con distintos niveles de automatización y una automatizada.

La alternativa manual se basa en operaciones realizadas íntegramente por personas con tecnologías tradicionales como las terminales portátiles (PDA).

En la alternativa híbrida de menor automatización, para la operación de cross-docking, se incorpora un sistema automático de clasificación (sorter) asistido por operarios, y para el manejo de unidades se utilizan estaciones con tecnologías put-to-light. El picking unitario es asistido por robots móviles autónomos (AMRs), que trasladan los pedidos entre los pasillos y guían al operario en la recolección, aunque la selección de unidades sigue siendo manual.

La alternativa híbrida de mayor automatización contempla el uso del mismo sorter automatizado para cross-docking, pero sustituye a un operario por un cobot despaletizador en el ingreso de las cajas. Además, el cross-docking unitario se realiza mediante un sistema de AMRs que opera de forma autónoma. El picking unitario es realizado por robots que trabajan dentro de un sistema compacto de almacenaje.

La alternativa automática replica los sistemas de la alternativa híbrida más automatizada, reemplazando a los operarios que asisten al sorter por AMRs con brazos robotizados.

Se evalúa la viabilidad y conveniencia de cada alternativa mediante un análisis económico-financiero y el uso de indicadores de productividad. Como resultado, se determina que la opción híbrida de menor automatización ofrece una combinación óptima entre eficiencia operativa y costos, permitiendo la incorporación progresiva de nuevas tecnologías sin requerir una inversión tan elevada como la de una automatización completa. La implementación de esta solución permite optimizar los tiempos de procesamiento y el uso de recursos dentro del centro de distribución.

Palabras clave: logística, intralogística, automatización, abastecimiento, cross-docking, robots colaborativos, AMRs, picking unitario, productividad.

Índice

1. Introducción.....	15
2. Marco Teórico.....	17
2.1. Conceptos Fundamentales.....	17
2.1.1. Centros de distribución.....	17
2.1.1.1. Principales procesos en un centro de distribución.....	17
2.1.2. Logística y retail.....	17
2.2. Preparación de pedidos (Picking).....	18
2.2.1. Sistemas de picking.....	19
2.2.1.1. Person-to-goods.....	19
2.3. Estrategias de Abastecimiento y Distribución.....	20
2.3.1. Cross-docking.....	20
2.3.1.1. Tipos de cross-docking.....	20
2.3.1.2. Ventajas y desventajas del cross-docking.....	21
2.3.2. Granularidad de abastecimiento.....	21
2.3.3. Clasificación por ABC.....	22
2.4. Tecnologías en Centros de Distribución.....	23
2.4.1. PDA.....	23
2.4.2. Robótica colaborativa.....	24
2.4.3. Brazo cobot articulados.....	24
2.4.4. AGV y AMR.....	25
2.4.5. Sistemas de clasificación automatizados (Sorters).....	25
2.5. Dimensionamiento de depósito y diseño de layout.....	28
2.5.1. Diseño Básico de Instalaciones.....	28
2.5.2. Zonificación Estratégica.....	28
2.5.3. Diseño de Andenes.....	28
2.5.4. Principios de Distribución Interna del Almacén.....	29
2.5.4.1. Criterios de Ubicación.....	29
2.5.4.2. Optimización del Layout.....	29
2.5.4.3. Flujo en “U”.....	29
2.5.4.4. Factores de Planificación del Almacenamiento.....	29
3. Caso de estudio.....	31
3.1. Descripción General y Antecedentes.....	31
3.2. Operaciones Logísticas y de Abastecimiento.....	31
3.3. Desafíos Operacionales y Logísticos.....	32
3.3.1. Limitaciones en las sucursales de autoservicio.....	32
3.3.2. Centralización de la Logística.....	32
3.3.3. Dificultades Derivadas de la Existencia de Dos Depósitos Separados.....	32
3.4. Propuestas de Mejora y Nuevas Metodologías.....	33
3.5. Objetivo del proyecto.....	33
3.6. Alcance del proyecto.....	33
4. Análisis cuantitativo y dimensionamiento del problema.....	35
4.1. Criterios y cálculos para definir metodología de abastecimiento y granularidad óptima.....	35
4.2. Marco numérico del problema.....	37
4.2.1. Resultados por cantidad de SKUs.....	38

4.2.2. Resultados según cantidad de movimientos diarios en el centro de distribución.....	39
4.3. Análisis de sensibilidad.....	39
4.4. Proyección de crecimiento.....	41
4.5. Crecimiento en zafra.....	42
4.5.1. Cálculo de Aumento en periodo de Zafra.....	42
4.5.2. Categorización de Productos y Estrategia Operativa.....	43
4.5.3. Dimensionamiento de Productos Zafrales.....	43
4.5.4. Resultado del marco numérico del problema.....	44
5. Alternativas de solución.....	45
5.1. Alternativa Manual.....	45
5.2. Alternativa Híbrida (-).....	46
5.3. Alternativa Híbrida (+).....	48
5.4. Alternativa Automática.....	54
6. Dimensionamiento de sistemas.....	57
6.1. Sorter.....	57
6.2. Sorter Unitario con AMRs.....	59
6.3. Dimensionamiento de andenes.....	59
6.3.1. Andenes de Recepción.....	59
6.3.2. Andenes de Expedición.....	60
6.3.3. Resultados Totales.....	61
6.4. Dimensionamiento de stock unitario.....	61
6.4.1. Estanterías tradicionales.....	61
6.4.2. Estanterías compactas - Sistema robot picking "in-aisle".....	63
6.5. Dimensionamiento Stock Master.....	64
6.6. Dimensionamiento del área de cross-docking.....	64
7. Layouts.....	67
7.1. Consideraciones Generales.....	67
7.1.1. Elección del flujo operativo.....	67
7.1.4. Distribución de las operaciones.....	70
7.1.4.1. Crecimiento.....	71
7.1.5. Pasillos y calles.....	72
7.2. Consideraciones particulares de cada alternativa.....	73
7.2.1. Alternativa Manual.....	73
7.2.2. Alternativa Híbrida (-).....	74
7.2.3. Alternativa Híbrida (+).....	75
8. Operaciones.....	77
8.1. Operaciones comunes a todas las alternativas.....	77
8.1.1. Proceso de recepción.....	77
8.1.2. Almacenamiento y preparación de pedidos de stock en caja master.....	77
8.1.3. Proceso de expedición.....	78
8.2. Operaciones de Alternativa Manual.....	78
8.2.1. Cross-docking de cajas master.....	78
8.2.2. Cross-docking - Unitario e Inner.....	79
8.2.3. Stock de unidades.....	79
8.2.4. Flujos y Transportes de Materiales.....	80
8.3. Operaciones de Alternativa Híbrida (-).....	80

8.3.1. Cross-docking.....	80
8.3.1.1. Proceso de Entrada.....	80
8.3.1.2. Rama Unitaria.....	81
8.3.2. Stock Unitario.....	82
8.3.3. Flujos y Transportes de Materiales.....	83
8.4. Operaciones de Alternativa Híbrida (+).....	84
8.4.1. Cross-docking master.....	84
8.4.2. Cross-docking Unitario e Inner.....	84
8.4.3. Stock Unitario.....	85
8.4.4. Flujos y Transportes de Materiales.....	85
8.5. Operaciones de Alternativa Automática.....	86
8.5.1. Cross-docking Master.....	86
9. Cálculo de recursos humanos y robots.....	87
9.1. Metodología de cálculo.....	87
9.2. Alternativa Manual.....	88
9.3. Alternativa Híbrida (-).....	91
9.4. Alternativa Híbrida (+).....	93
9.5. Alternativa Automática.....	96
9.6. Resumen de resultados.....	98
10. Evaluación económica y financiera.....	101
10.1. Supuestos clave.....	101
10.2. Proyección de crecimiento.....	101
10.3. Inversiones Iniciales.....	102
10.4. Depreciación.....	104
10.5. Egresos.....	106
10.5.1. Costos de Mantenimiento.....	107
10.5.2. Mano de obra.....	108
10.5.3. Seguros.....	108
10.5.4. Resumen de egresos.....	108
10.6. Ingresos.....	109
10.7. Flujo de Fondos.....	110
10.8. Financiamiento.....	111
10.9. Flujo de fondos con Financiamiento.....	113
10.10. Métodos de evaluación.....	114
10.11. Análisis de Sensibilidad.....	115
10.11.1. Variaciones en el costo empresa anual de los funcionarios.....	116
10.11.2. Variaciones en el ingreso.....	116
10.11.3. Variaciones en el capital propio aportado para la inversión inicial.....	117
10.11.4. Variaciones en la tasa de descuento.....	118
11. Análisis de Indicadores de Productividad.....	121
11.1. Bultos por Hora (Bultos/h).....	121
11.2. Ratio Costo por Bulto.....	122
12. Conclusiones.....	125
13. Bibliografía.....	127
Anexo.....	133
1. Códigos de referencia - Layout Alternativa Manual.....	133

2. Códigos de referencia - Layout Alternativa Híbrida (-).....	133
3. Códigos de referencia - Layout Alternativa Híbrida (+).....	134
4. Códigos de referencia - Layout Alternativa Automática.....	135

Índice de figuras

Figura 1: Dispositivo PDA. [16].....	23
Figura 2: Brazo Cobot. [19].....	24
Figura 3: Sorter.[24].....	26
Figura 4: Tilt tray Sorter. [26].....	26
Figura 5: Shoe Sorter. [27].....	27
Figura 6: Vertical Sorter. [28].....	27
Figura 7: Cross-belt Sorter. [25].....	28
Figura 8: AMR para asistencia en el armado de pedidos. [32].....	47
Figura 9: Cobot despaletizador. [33].....	49
Figura 10: Sorter de AMRs.[34].....	49
Figura 11: Cajones de clasificación por sucursal, robot primario y robot secundario. [34].....	50
Figura 12: AMR de clasificación primaria de Sorter AMRs. [35].....	50
Figura 13: Diagrama de layout de Sorter de AMRs.....	51
Figura 14: AMR para “in aisle” picking. [36].....	52
Figura 15: Estación de ingreso en sistema de stock unitario compacto. [37].....	52
Figura 16: Secuencia de extracción del cajón plástico de la estantería.[38].....	53
Figura 17: Picking autónomo realizado AMR para “in aisle” picking.[36].....	53
Figura 18: AMR con brazo para pick & place de bultos. [39].....	54
Figura 19: Diagrama de productividad de ramas de entrada y salida de Sorter.....	58
Figura 20: Estanterías tradicionales utilizadas para stock unitario. [42].....	62
Figura 21: Esquemas de módulo de estantería para stock unitario.....	63
Figura 22: Estanterías compactas utilizadas para stock unitario. [44].....	63
Figura 23: Diagrama de áreas para cross-docking.....	65
Figura 24: Disposición de andenes en el layout.....	68
Figura 25: Esquema de distribución en las zonas de andenes.....	69
Figura 26: Esquema de layout por zona.....	71
Figura 27: Esquema de sentidos de expansión de cada zona.....	72
Figura 28: Esquema de layout de zona cross-docking para alternativa Manual.....	74
Figura 29: Esquema de layout de zona cross-docking para alternativa Híbrida (-).....	75
Figura 30: Esquema de layout de zona cross-docking para alternativa Híbrida (+).....	75
Figura 31: Esquema de layout de zona stock unitario para alternativa Híbrida (+).....	76
Figura 32: Racks selectivos para almacenamiento de Stock Master. [52].....	78
Figura 33: Cajones para cross-docking. [53].....	79
Figura 34: Estanterías para almacenamiento de stock unitario. [54].....	80
Figura 35: Roll container con contenedores para picking unitario. [55].....	80
Figura 36: Esquema de trabajo put to light en bloques. [56].....	81
Figura 37: AMR para armados de pedidos. [57].....	82
Figura 38: Sistema de AMRs "in-aisle" picking [44].....	85
Figura 39: Esquema de recorridos alternativa Manual.....	90
Figura 40: Esquema de recorridos alternativa Híbrida (-).....	92

Índice de tablas

Tabla 1: Tabla de reglas para la mejor metodología de operación.....	35
Tabla 2: Tabla de reglas para la mejor granularidad de operación.....	36
Tabla 3: Cantidad de SKU por método y granularidad.....	38
Tabla 4: Movimientos diarios en unidades y cajas por método de almacenamiento y granularidad (Junio 2024-Agosto 2024).....	39
Tabla 5: Análisis de sensibilidad para días de inventario en cross-docking.....	40
Tabla 6: Análisis de sensibilidad para días de inventario en Stock.....	40
Tabla 7: Marco del problema proyectado - Año 5.....	42
Tabla 8: Aumento de ventas en periodo de zafra 2021-2023.....	43
Tabla 9: Extracto de análisis de productos Zafrales.....	44
Tabla 10: Comparación de cajas diarias por categoría - Año 5 vs Año 5 + Zafra.....	44
Tabla 11: Alternativa Manual - Soluciones por método y granularidad.....	45
Tabla 12: Alternativa Híbrida (-) - Soluciones por método y granularidad.....	46
Tabla 13: Alternativa Híbrida (+) - Soluciones por método y granularidad.....	48
Tabla 14: Alternativa Automática - Soluciones por método y granularidad.....	54
Tabla 15: Cálculo de andenes de recepción.....	60
Tabla 16: Cálculo de andenes de expedición.....	60
Tabla 17: Resumen - Cantidad de andenes de recepción y expedición (Año 5 + Zafra).....	61
Tabla 18: Resultados de dimensionamiento Stock Master.....	64
Tabla 19: Referencias de códigos en layouts.....	67
Tabla 20: Medios de transporte por recorrido para alternativa Híbrida (-).....	83
Tabla 21: Medios de transporte - alternativa Híbrida (+).....	86
Tabla 22: Movimientos y funcionarios actuales y proyectados al año 5.....	87
Tabla 23: Ratio de personal administrativo y operarios.....	88
Tabla 24: Productividad y bultos por operación - alternativa Manual.....	89
Tabla 25: FTE por tarea - alternativa Manual.....	90
Tabla 26: Productividad y bultos por operación - alternativa Híbrida (-).....	91
Tabla 27: FTE por tarea - alternativa Híbrida (-).....	92
Tabla 28: Robots - alternativa Híbrida (-).....	93
Tabla 29: Productividad y bultos por operación - alternativa Híbrida (+).....	94
Tabla 30: FTE por tarea - alternativa Híbrida (+).....	95
Tabla 31: Robots - alternativa Híbrida (+).....	96
Tabla 32: FTE por tarea - alternativa Automática.....	97
Tabla 33: Robots - alternativa Automática.....	98
Tabla 34: Comparación de FTE por alternativa.....	98
Tabla 35: Reducción de FTE por alternativa contra alternativa Manual.....	99
Tabla 36: Comparación de robots por alternativa.....	100
Tabla 37: Ratio FTE/Bulto por operación.....	102
Tabla 38: Proyección de crecimiento de FTE por alternativa.....	102
Tabla 39: Inversiones Iniciales.....	103
Tabla 40: Inversiones de alternativa Híbrida (+) Año 0 y Año 1.....	104
Tabla 41: Depreciación de inversiones alternativa Híbrida (+).....	105
Tabla 42: Existencias de PDA - alternativa Híbrida (+).....	106
Tabla 43: Cuotas de depreciación de PDA (USD) - Alternativa Híbrida (+).....	106

Tabla 44: Resultados de depreciación - Alternativa Híbrida (+) para los años 0, 1, 5 y 10.....	106
Tabla 45: Cuota de mantenimiento anual por equipo.....	107
Tabla 46: Egresos por alternativa, Años 1, 5 y 10.....	109
Tabla 47: Flujo de Fondos Neto Acumulado por Año por alternativa.....	111
Tabla 48: Inversión propia y financiamiento por alternativa (USD).....	112
Tabla 49: Período de repago del préstamo y cuota mensual por alternativa.....	112
Tabla 50: Flujo de Fondos Neto Acumulado con Financiamiento por alternativa.....	113
Tabla 51: Comparación por alternativa del Flujo Neto Acumulado al Año 10.....	114
Tabla 52: Comparación de métodos de evaluación por alternativa.....	114
Tabla 53: Análisis de sensibilidad de costo empresa anual de los funcionarios.....	116
Tabla 54: Análisis de sensibilidad de ingresos por centralización.....	117
Tabla 55: Análisis de sensibilidad capital propio vs financiamiento.....	118
Tabla 56: Análisis de sensibilidad de tasas de descuento.....	118
Tabla 57: Datos Actualidad Bultos por hora.....	121
Tabla 58: Bultos por hora por alternativa.....	122
Tabla 59: Datos actualidad Ratio costos por bulto.....	123
Tabla 60: Ratio costo por bulto por alternativa.....	123

1. Introducción

En las últimas décadas, la transformación digital y la evolución del mercado minorista han redefinido la gestión de las cadenas de suministro. La creciente complejidad en el abastecimiento de redes de sucursales pequeñas, donde el espacio disponible se destina prioritariamente a la venta en lugar del almacenamiento, ha generado la necesidad de mantener niveles óptimos de inventario en estos puntos. Como consecuencia, se ha impulsado el desarrollo de centros de distribución cada vez más sofisticados y tecnológicamente avanzados. En este contexto, la optimización de las operaciones logísticas se ha convertido en un factor determinante para garantizar la disponibilidad de productos y mejorar la eficiencia operativa en los puntos de venta. [1]

Los centros de distribución modernos enfrentan múltiples desafíos en la gestión del abastecimiento a sucursales, desde la coordinación de grandes volúmenes de mercadería hasta la necesidad de sincronizar entregas con distintos niveles de granularidad según el destino, entendiéndose por granularidad como la forma en que se agrupa y envía la mercadería, es decir, la unidad de despacho. Para abordar estas problemáticas, resulta fundamental la implementación de estrategias como el cross-docking, el picking unitario y la incorporación de sistemas automatizados, con el objetivo de incrementar la eficiencia y reducir los costos operativos asociados. [1]

En este trabajo se desarrolla un estudio de caso aplicado a una de las principales cadenas de supermercados de Uruguay, la cual enfrenta los desafíos previamente mencionados en su cadena de abastecimiento. A partir de este contexto, el objetivo del proyecto es diseñar y dimensionar un sistema que integre automatización y tecnologías avanzadas para optimizar las operaciones en un nuevo centro de distribución para la empresa. La propuesta busca reducir costos operativos, mejorar la productividad e incorporar procesos eficientes de cross-docking y picking unitario, alineados con las necesidades de la compañía y las tendencias del sector logístico.

El estudio se estructura en varias etapas. En primer lugar, se presenta el desarrollo del caso de estudio y la motivación del proyecto, estableciendo el marco de referencia sobre el cual se plantean las soluciones. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis cuantitativo y un dimensionamiento del problema, con el propósito de identificar las variables críticas que influyen en el diseño del sistema. A continuación, se evalúan distintas alternativas y se analizan las posibles soluciones en función de su viabilidad técnica y operativa. Luego, se define en detalle la estructura y las operaciones del nuevo centro de distribución, especificando los recursos requeridos para su implementación. Seguidamente, se realiza una evaluación económica y financiera que permite determinar la factibilidad del proyecto desde este punto de vista. Finalmente, se analizan indicadores clave de productividad que permitan medir el impacto y la eficiencia de la solución propuesta. Sobre la base de estos resultados, se determinará la alternativa más adecuada para la empresa, asegurando que la solución propuesta responda de manera efectiva a los objetivos estratégicos de la empresa.

2. Marco Teórico

2.1. Conceptos Fundamentales

2.1.1. Centros de distribución

Según el Council of Supply Chain Management Professionals, un centro de distribución se define como una instalación o espacio logístico especializado que tiene como función principal la recepción de productos de diversos proveedores, su eventual almacenamiento, y la consolidación de estos productos en envíos hacia destinos específicos dentro de una red de distribución [2]. Además, los centros de distribución pueden realizar actividades livianas de manufactura, como ensamblaje y etiquetado [3].

Entre sus principales ventajas se destaca la reducción de costos operativos, ya que posibilita la compra y producción en grandes volúmenes, minimizando gastos de transporte y evitando interrupciones en la distribución. Asimismo, desempeña un papel clave en la coordinación entre la oferta y la demanda, garantizando la disponibilidad de productos en momentos estratégicos, especialmente en sectores con producción estacional [4].

2.1.1.1. Principales procesos en un centro de distribución

Las principales operaciones en un centro de distribución son:

- **Recepción:** Comprende la descarga de productos del transporte, la actualización de registros de inventario y la inspección para detectar cualquier inconsistencia en cantidades o calidad.
- **Almacenamiento:** Los productos recibidos son organizados en ubicaciones específicas dentro del almacén.
- **Picking:** Proceso de obtener las cantidades correctas de los productos solicitados para cumplir con un conjunto de pedidos de clientes.
- **Consolidación:** Es necesaria cuando los pedidos se recolectan por partes. En tal caso, las unidades recolectadas deben agruparse por pedido al finalizar el picking.
- **Expedición:** Los productos preparados son transportados hasta la zona de despachos, etiquetados y cargados en los vehículos de transporte para su distribución final.
- **Cross-docking:** Se realiza cuando los productos recibidos se transfieren directamente a los muelles de expedición, sin almacenamiento (pueden requerir estancias o servicios breves). [3][5]

2.1.2. Logística y retail

El comercio minorista, conocido como retail, se enfoca en la comercialización de bienes y servicios dirigidos al consumidor final para su uso personal, sin fines de reventa. Representa la última fase del proceso de distribución, trasladando productos desde fabricantes y mayoristas hasta los compradores.

Este sector abarca una amplia variedad de establecimientos, como supermercados, grandes almacenes y comercios especializados. Sus principales características incluyen [6]:

- **Frecuencia de compra elevada:** Los consumidores adquieren productos de forma recurrente, especialmente en bienes de uso cotidiano.

- **Compra en grandes volúmenes:** Los minoristas adquieren grandes cantidades a los mayoristas para vender al detalle, optimizando costos y rentabilidad.
- **Marcas propias:** Muchos minoristas desarrollan marcas exclusivas para mejorar su posicionamiento y ofrecer productos más accesibles.

La logística en retail abarca todos los procesos necesarios para trasladar productos desde los proveedores hasta los consumidores finales; y enfrenta un entorno en constante evolución, impulsado por la tecnología y el aumento de expectativas de los consumidores. Algunos de sus principales desafíos incluyen demanda de rapidez en las entregas, gestión multicanal (tiendas físicas y plataformas digitales) y la búsqueda de estrategias de sostenibilidad como la logística inversa y la reducción de la huella de carbono.[\[6\]](#)

Dentro de las opciones para mejorar la eficiencia y reducir costos operacionales desde el punto de vista logístico, las empresas pueden aplicar diversas estrategias:

- **Diseño de almacenes:** Implementación de layouts eficientes como el flujo en U y la organización según consumo.
- **Picking optimizado:** Métodos como batch picking, multi-order y pick and pack para mejorar la recolección de productos.
- **Infraestructura y tecnología:** Uso de sistemas de gestión de almacenes (SGA), robótica, identificación por radiofrecuencia (RFID) e inteligencia artificial para maximizar la productividad y seguridad.

La optimización logística es fundamental para garantizar la eficiencia operativa y mantener la competitividad en el sector retail. [\[6\]](#)

2.2. Preparación de pedidos (Picking)

La preparación de pedidos es una de las actividades más intensivas en mano de obra dentro de un almacén y puede representar hasta el 55% del costo total de operación [\[7\]](#). Un bajo rendimiento en este proceso no solo incrementa los costos operativos, sino que también afecta el nivel de servicio. Con la tendencia a reemplazar múltiples almacenes pequeños por instalaciones de mayor escala, el volumen diario de pedidos ha aumentado considerablemente, mientras que el tiempo disponible para su procesamiento es limitado.

El proceso de preparación de pedidos involucra diversas etapas que van desde la agrupación y programación de los pedidos hasta la disposición final de los artículos recogidos. Cada pedido está compuesto por líneas de pedido, donde cada línea corresponde a un producto específico o SKU en una cantidad determinada. Para gestionar estos pedidos, los almacenes suelen emplear distintos sistemas de preparación, combinando múltiples métodos dentro de una misma instalación.

Un factor determinante en la eficiencia de estos sistemas es la distancia de desplazamiento dentro del almacén, especialmente en aquellos operados de manera manual. A medida que aumenta la distancia recorrida, el tiempo necesario para completar un pedido también se incrementa. Por esta razón, la optimización del diseño del almacén busca minimizar la longitud promedio de los recorridos y, en consecuencia, reducir la distancia total de desplazamiento. [\[7\]](#)

En definitiva, una preparación de pedidos eficiente no solo contribuye a disminuir costos operativos, sino que también mejora la capacidad de respuesta del almacén y fortalece la cadena de suministro en su conjunto. [\[7\]](#)

2.2.1. Sistemas de picking

2.2.1.1. Person-to-goods

La mayoría de los almacenes utilizan una metodología Person-to-goods¹ para la preparación de pedidos. Entre estos, los sistemas de recogida por parte del operador son los más comunes, donde el recolector camina o conduce a lo largo de los pasillos para recoger los artículos.

Para mejorar la eficiencia en la preparación de pedidos, se utilizan diversas tecnologías:

- **Pick-to-light**²: Esta tecnología de baja automatización utiliza señales luminosas para asistir a los operarios. Cada ubicación de almacenamiento tiene una pantalla con una luz que se ilumina cuando un producto debe ser recogido y una pantalla que indica la cantidad a recoger. [7]
- **Pick-by-voice**³: Estos sistemas asisten a los trabajadores mediante instrucciones verbales. Los dispositivos de voice picking están conectados al sistema de gestión de almacenes y convierten sus órdenes en comandos de voz que el operario escucha en sus auriculares. [7]
- **Pick-by-vision**⁴: Este método utiliza lentes inteligentes con pantallas visuales que muestran las instrucciones de recolección de los pedidos e indican la ubicación de los artículos. [7]

Una forma efectiva de hacer más eficiente el picking Person-to-goods es la zonificación (o también llamado por su nombre en inglés “*Zone picking*”). A cada picker se le asigna una zona para recoger una parte del pedido. Las ventajas de esta metodología incluyen que cada preparador recorre un área más pequeña, lo cual reduce la congestión de tráfico y permite que se familiaricen con las ubicaciones en su zona. [7]

Recientemente, también se habla de la modalidad Robot-to-goods⁵ (RTG), que es la misma operativa que Person-to-goods, pero el encargado de hacer el picking es un robot autónomo.

2.2.1.2. Goods to Person

Los sistemas de recogida de productos al operador incluyen sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (AS/RS). Estos sistemas utilizan principalmente grúas guiadas por pasillo para recuperar una o más unidades de carga, ya sean pallets o contenedores. En el caso de los contenedores, el sistema se denomina frecuentemente miniload. Las grúas llevan las unidades de carga a una posición de recogida, donde el recolector de pedidos toma el número requerido de piezas. Posteriormente, la carga restante se almacena nuevamente.

2.2.1.3. Put systems (Sistemas de colocación)

Los sistemas de colocación, también conocidos como sistemas de distribución de pedidos, comprenden un proceso que involucra tanto la recuperación como la posterior distribución en pedidos de los artículos. Estos sistemas resultan especialmente eficientes

¹ Operarios hacia la mercancía

² Picking guiado por luz

³ Picking guiado por voz

⁴ Picking guiado por visión

⁵ Robot a mercancía

en contextos donde se requiere procesar un elevado número de líneas de pedidos en un período de tiempo reducido.

Un ejemplo representativo de esta metodología es la estructura física compuesta por compartimentos o casilleros, en los cuales los productos son depositados mediante un sistema put-to-light. Este sistema opera de manera similar al pick-to-light, con la diferencia de que, en lugar de indicar la extracción de productos, las señales luminosas guían el proceso de colocación de los artículos en los espacios designados. [7]

2.3. Estrategias de Abastecimiento y Distribución

2.3.1. Cross-docking

El cross-docking es un sistema de preparación de pedidos caracterizado por la recepción y distribución directa de la mercancía al cliente, sin necesidad de un almacenamiento intermedio.

En este enfoque logístico, los productos permanecen en las instalaciones únicamente durante un breve período tras su recepción, evitando su almacenamiento en estanterías y eliminando la etapa de picking. Este concepto debe su nombre al término en inglés "*cross the docks*", que hace referencia al tránsito directo de la mercancía a través de los muelles de carga y descarga. [8]

Generalmente, los siguientes productos califican como aptos para el cross-docking:

- **Artículos atrasados:** Aquellos pedidos que han sufrido retrasos y necesitan llegar rápidamente a su destino.
- **Mercadería de temporada (o promocionales):** Productos con alta demanda durante períodos específicos del año. Mediante el cross-docking se pueden distribuir ágilmente para aprovechar su ventana de ventas sin ocupar espacio de almacenamiento.
- **Productos de alto volumen con demanda constante:** Artículos que tienen una demanda regular y predecible.
- **Productos perecederos:** para asegurar la frescura de los productos.
- **Productos de alto valor:** artículos costosos donde minimizar el tiempo de tránsito y manipulación es crucial para reducir riesgos de daños o robos.
- **Productos con tiempos de entrega cortos:** facilita la coordinación y predictibilidad de la entrega. [9]

Por otro lado, los siguientes tipos de productos no suelen ser aptos para el cross-docking:

- Artículos voluminosos y difíciles de manipular.
- Artículos que llegan antes de que comiencen las promociones de temporada.
- Artículos comprados en grandes cantidades.
- Productos con plazos de entrega largos. [9]

2.3.1.1. Tipos de cross-docking

Existen diversas metodologías para llevar a cabo el cross-docking, dependiendo de la intervención necesaria entre la recepción y expedición de la mercadería. Algunas de estas son:

- **Cross-docking predistribuido o directo:** La mercancía es preparada por el proveedor en función de la demanda, por lo que se recibe ya organizada y separada para el destino a la salida del almacén. De esta forma los trabajadores únicamente se encargan de recibir y desplazar las unidades de carga hacia los puntos de salida. [\[8\]](#) [\[9\]](#)
- **Cross-docking consolidado o indirecto:** A diferencia del anterior, este tipo sí requiere de preparación y de una mayor manipulación antes de que la mercancía salga del almacén. Se reciben las unidades de carga en el centro de distribución y se trasladan a una zona de acondicionamiento en la que se separan, reetiquetan y adaptan a los requerimientos del cliente final. Así, se obtienen nuevas cargas basadas en una demanda específica. [\[8\]](#) [\[9\]](#)
- **Cross-docking híbrido:** Éste es un tipo más complejo, ya que supone trabajar con dos clases de mercancías: las que se acaban de recibir y las que ya se encuentran almacenadas en las instalaciones. De esta forma, se puede hacer frente a una mayor variedad de pedidos, ya que se preparan con ambos tipos de existencias. Recibe el nombre de híbrido porque es posible que las mercancías que se reciben se almacenen de manera temporal durante un corto periodo de tiempo antes de trasladarse a la zona de acondicionamiento en la que se preparan los pedidos. [\[8\]](#) [\[9\]](#)

2.3.1.2. Ventajas y desventajas del cross-docking

La principal ventaja del cross-docking es la reducción del tiempo de manipulación, lo que disminuye los costos operativos y de mano de obra al eliminar procesos intermedios. Esto se traduce en un aumento significativo de la productividad y la eficiencia. Al prescindir del almacenamiento, se eliminan las rutas hacia las zonas de depósito, el guardado en estanterías, las operaciones de picking y el redireccionamiento de la mercadería hacia las áreas de expedición.

Además, esta estrategia genera un considerable ahorro en costos de inventario, ya que se reducen o eliminan los gastos asociados a su mantenimiento, adquisición y manipulación.[\[9\]](#)

Sin embargo, al adoptar esta estrategia las empresas enfrentan ciertas exigencias y asumen ciertos riesgos. Existe una necesidad de mayor coordinación y sincronización en la cadena de suministro y también un riesgo de desabastecimiento por falta de stock de seguridad propio. Al no contar con stock en el centro de distribución, un pico inesperado de demanda puede generar un quiebre de stock en el punto de venta si este no cuenta con suficiente producto. [\[10\]](#)[\[11\]](#)

2.3.2. Granularidad de abastecimiento

En la actualidad, a menudo se ignora un factor importante: la elección del tamaño del paquete que se enviará desde el centro de distribución a las tiendas.

Esta decisión sobre la elección de la granularidad de abastecimiento de un artículo representa una decisión estratégica en la gestión de la cadena de suministro. Ésta determina si los productos serán manipulados en el centro de distribución y enviados a

los puntos de venta como unidades individuales, empaques intermedios (inner packs), cajas completas (master), o pallets completos.

La selección de la granularidad requiere equilibrar tres factores principales:

1. **Costos de manipulación en el centro de distribución:** cuanto menor es la unidad mínima de envío más incrementan los costos de manipulación. Al requerir operaciones adicionales de apertura de cajas y mayor frecuencia de picking, se deben invertir más horas de trabajo en el proceso. Para la tarea de almacenamiento, abrir una caja y vaciar su contenido en un estante es más lento que colocar la caja directamente. A la vez, para la tarea de picking es menos productivo visitar una posición del almacén múltiples veces para buscar unidades sueltas que visitarla una única vez para buscar una caja completa. [\[12\]](#)
2. **Costos en las Tiendas:** Las cajas completas pueden generar exceso de stock y requieren espacio adicional de almacenamiento en las sucursales, aumentando la manipulación y el riesgo de roturas y diferencias de inventario. [\[12\]](#)
3. **Gestión de Inventarios:** La granularidad del abastecimiento en el centro de distribución determina los niveles de inventario y la frecuencia de reaprovisionamiento en las sucursales. [\[12\]](#)

Esta problemática se vuelve aún más compleja en pequeñas sucursales o autoservicios, donde se cuenta con poco espacio de depósito y un amplio surtido de productos para ofrecerle al cliente. Encontrar el punto de equilibrio entre estos factores permite minimizar los costos totales de operación mientras se mantiene el nivel de servicio requerido a las sucursales. [\[12\]](#)

2.3.3. Clasificación por ABC

Un método comúnmente utilizado en la industria para la clasificación de inventarios es el método ABC. La clasificación ABC es una técnica que segmenta los productos de un inventario según su nivel de rotación, ayudando a optimizar la gestión y asignación de recursos. Basada en el principio de Pareto (80/20), esta clasificación permite identificar qué artículos requieren mayor control y cuáles pueden gestionarse con menor prioridad.

Los productos se agrupan según su frecuencia de movimiento en el almacén, medida por su demanda anual o consumo. La clasificación se realiza en tres categorías:

Los productos de **Categoría A** son aquellos de alta rotación, es decir, tienen una demanda constante y frecuente. Son los productos de mayor importancia para el negocio. Representan un porcentaje reducido del inventario total, pero son los más solicitados, por lo que su disponibilidad es crucial para el funcionamiento eficiente de la cadena de suministro. Dado su alto movimiento, estos productos deben ubicarse en zonas estratégicas del almacén, facilitando su acceso y reduciendo los tiempos de picking y despacho. Además, requieren un control riguroso y reposiciones frecuentes para evitar quiebres de stock, ya que cualquier interrupción en su suministro puede impactar significativamente en la operatividad del negocio. [\[13\]](#)

Los productos de **Categoría B** tienen una rotación intermedia y su demanda es menos constante que los de la categoría A. Aunque su movimiento no es tan alto, siguen siendo relevantes para la operación y deben ser monitoreados de cerca, ya que algunos pueden incrementar su circulación y volverse productos de alta rotación, mientras que otros pueden perder relevancia y descender a la categoría C. La ubicación de estos productos

en el almacén debe ser estratégica, asegurando un acceso adecuado sin ocupar espacios preferenciales. [13]

Por otro lado, los productos de **Categoría C** tienen una baja rotación, moviéndose de manera esporádica o estacional. Representan el mayor porcentaje del inventario en términos de cantidad de artículos, pero su demanda es tan baja que pueden generar costos innecesarios si no se gestionan correctamente. En muchos casos, estos productos ocupan espacio valioso en el almacén sin contribuir significativamente a la operatividad, por lo que deben almacenarse en zonas menos accesibles o, en algunos casos, evaluar si realmente conviene mantenerlos en stock. [13]

2.4. Tecnologías en Centros de Distribución

Como se mencionó previamente, en un entorno logístico cada vez más dinámico y exigente, la incorporación de tecnologías en los centros de distribución se ha convertido en un factor clave para mejorar la eficiencia, optimizar los procesos y reducir costos operativos.

A continuación se hará una revisión de algunas de las tecnologías más utilizadas para mejorar la eficiencia de procesos y para la automatización en los centros de distribución.

2.4.1. PDA

Los asistentes personales digitales (PDA, por sus siglas en inglés) son dispositivos móviles que integran funciones de computación, telefonía, escaneo de códigos de barras y navegación, lo que los convierte en herramientas esenciales para la gestión de almacenes. Estos dispositivos, como el que se ve en la figura 1, permiten realizar operaciones logísticas como el picking, el registro de movimientos de mercadería y la impresión de etiquetas, consolidándose como una solución integral para la logística inteligente.

La integración de los PDAs con los sistemas de gestión de almacenes facilita la trazabilidad de mercancías, la optimización de rutas y la automatización del control de stock, reduciendo errores humanos y mejorando la eficiencia. [14][15]



Figura 1: Dispositivo PDA. [16]

2.4.2. Robótica colaborativa

Los cobots o robots colaborativos son robots creados para interactuar en un entorno de trabajo con humanos, a fin de liberar a los trabajadores de las tareas más repetitivas, complejas o peligrosas.

La principal diferencia entre un cobot y un robot industrial convencional es su papel en el depósito: mientras que una máquina colaborativa trabaja como ayudante del operario, potenciando la eficiencia de sus tareas, un robot industrial se construye para convertirse en sustituto natural del trabajador. [\[17\]](#)

Algunas de las principales ventajas que presentan los cobots son:

- **Alta Precisión:** Minimizan los errores de los procesos manuales.
- **Seguridad:** ejecutan tareas peligrosas, disminuyendo riesgos de accidente tanto para el operario como para la mercadería.
- **Aumento de la productividad:** Operan sin interrupción, lo que puede evitar la necesidad de mantener múltiples turnos.
- **Reducción de costos operativos:** el incremento de la eficiencia en las operativas de depósito y la disminución de errores optimiza los recursos de la compañía.
- **Flexibilidad y escalabilidad para el depósito:** pueden adaptarse a múltiples tareas. [\[17\]](#)

Algunos ámbitos de aplicación de robótica colaborativa a la logística son procesos de picking, paletizado, despaletizado, packaging, enfilado, almacenaje de mercadería y control de calidad, entre otros. [\[18\]](#)

2.4.3. Brazo cobot articulados

El brazo robótico articulado es el tipo de cobot más comúnmente utilizado, diseñado para replicar la morfología del brazo humano mediante segmentos metálicos interconectados por articulaciones. A modo ilustrativo, se muestra uno en la figura 2.



Figura 2: Brazo Cobot. [\[19\]](#)

El funcionamiento del cobot es gestionado por un controlador, que recibe información de diversos sensores y envía comandos directos al brazo, guiando sus movimientos y acciones.

Para la interacción directa con los humanos, se emplea el Teach Pendant, un dispositivo portátil que permite controlar, programar, probar y solucionar problemas del cobot de forma manual.

Las "manos" del robot, conocidas como efectores finales, son componentes esenciales diseñados para tareas específicas. Por ejemplo, un cobot utilizado en soldadura contará con una antorcha como efector final. Estos efectores son intercambiables, lo que permite al cobot adaptarse a una amplia variedad de aplicaciones.

En entornos más complejos, se integran sistemas de visión que funcionan como los "ojos" del robot, capturando imágenes que son procesadas por software para ajustar sus acciones en tiempo real. Además, se pueden incorporar sensores adicionales que, en combinación con los sensores internos del brazo, mejoran la seguridad y eficiencia del sistema colaborativo. [\[20\]\[21\]](#)

2.4.4. AGV y AMR

Los vehículos guiados automáticamente (AGV, por sus siglas en inglés) son transportadores de carga controlados por computadora que operan sin necesidad de un conductor. Suelen desplazarse siguiendo rutas fijas y puntos predefinidos dentro de un entorno, lo que los hace adecuados para tareas repetitivas en espacios organizados. Sin embargo, cualquier cambio en el diseño del espacio de trabajo requiere una reprogramación compleja, lo que puede generar períodos de inactividad y afectar la productividad.

Los robots móviles autónomos (AMR) representan una evolución en la automatización. A diferencia de los AGV, estos robots pueden moverse libremente dentro de un área determinada, sin depender de rutas fijas. Gracias a sensores avanzados, inteligencia artificial y tecnología SLAM⁶, los AMR pueden interpretar su entorno en tiempo real y tomar decisiones autónomas. Esto les permite adaptarse a cambios en el espacio de trabajo, comunicarse con otros sistemas y realizar tareas más allá del transporte de materiales, como patrullaje y colaboración con operarios. [\[22\]](#)

La diferencia fundamental entre los AGV y los AMR es que, los AGV requieren una infraestructura fija para su desplazamiento y dependen de un sistema centralizado de control. Mientras que los AMR, pueden moverse libremente dentro de un espacio determinado, adaptándose a los cambios sin intervención humana. [\[22\]](#)

Otra distinción importante es la respuesta ante imprevistos. Los AGV no tienen capacidad para sortear obstáculos inesperados. En contraste, los AMR utilizan sensores y algoritmos de inteligencia artificial para detectar cambios en su entorno y ajustar su trayectoria. [\[22\]](#)

2.4.5. Sistemas de clasificación automatizados (Sorters)

El sistemas de clasificación automatizado (sorter) es un sistema de manipulación de mercancías utilizado en almacenes para clasificar artículos de forma automática según su destino. El sorter, como el que se muestra en la figura 3, cuenta con un sistema precargado de clasificación de productos, que puede ser según su peso, volumen, SKU, código postal, entre otros. [\[23\]](#)

⁶ Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) es un sistema de localización y mapeo simultáneo utilizado por robots para reconocer y transitar el espacio.

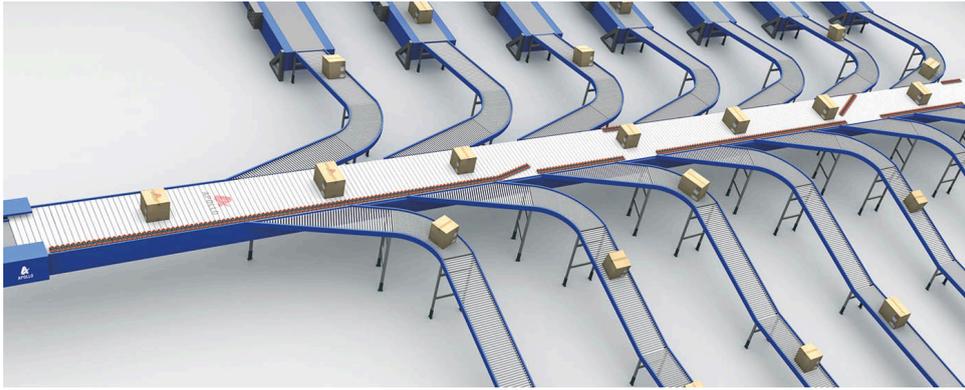


Figura 3: Sorter. [\[24\]](#)

Las partes que componen a un sorter son las siguientes:

- **Punto de entrada:** Es el punto por donde la mercancía ingresa al sistema de clasificación. Dependiendo del tipo de sistema, este proceso puede realizarse de forma manual o automatizada.
- **Mecanismo de transporte:** Dispositivo encargado de movilizar la mercancía a lo largo del proceso. Puede estar conformado por cintas transportadoras, rodillos o estructuras con elementos móviles, como bandejas o bandas transversales.
- **Sistema de identificación:** Emplea cámaras, escáneres de códigos o sensores (por ejemplo de RFID) para reconocer la mercancía.
- **Mecanismo de desvío:** Redirige o extrae la mercancía del sistema de transporte en función de la información recopilada por el sistema de identificación. En algunos casos, esta función es realizada directamente por el transportador, que permite la caída del producto en el punto correspondiente.
- **Área de recolección:** Una vez que la mercancía ha sido desviada hacia su destino, queda disponible para ser recogida por un operario o un sistema de transporte secundario para su procesamiento o distribución. [\[25\]](#)

Existen distintos tipos de sorter que se diferencian según el tipo de producto a manejar. A continuación se describen los más comunes y se ilustran en las figuras 4, 5, 6 y 7 respectivamente.

- **Tray sorter:** Los productos se desplazan sobre bandejas que, cuando llegan a su destino, se inclinan y lo depositan en una estación. Es el sistema indicado para mercancías delicadas o frágiles y de pequeña dimensión.

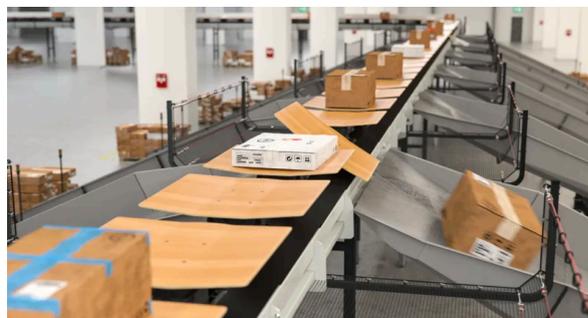


Figura 4: Tilt tray Sorter. [\[26\]](#)

- **Shoe Sorter:** Opera mediante un mecanismo de empuje activado en el momento en que el producto pasa frente a la salida correspondiente. Este sistema utiliza zapatas móviles para desviar los artículos hacia una cinta transportadora secundaria o una rampa, permitiendo una distribución eficiente y ordenada. Entre sus principales ventajas, se destaca su capacidad para manejar productos de distintos volúmenes, su velocidad ajustable según las necesidades operativas y su diseño que facilita tanto el mantenimiento como el reemplazo de componentes.



Figura 5: Shoe Sorter. [\[27\]](#)

- **Sorter vertical:** Desvía los productos en diferentes planos o alturas. Su principal ventaja es el ahorro de espacio horizontal.

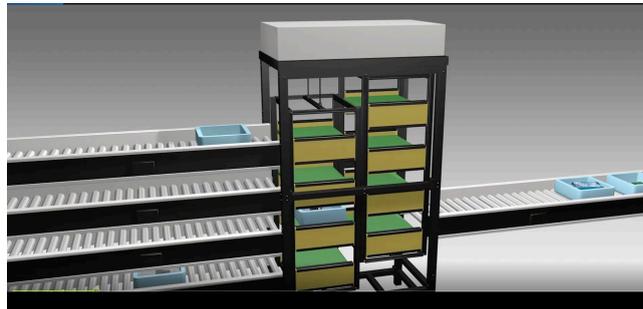


Figura 6: Vertical Sorter. [\[28\]](#)

- **Cross belt sorter:** Es un sistema de clasificación de alta capacidad en el que los productos se colocan sobre bandas transversales dispuestas a 90° sobre la cinta transportadora principal. Cuando un producto alcanza su destino, la banda transversal se activa y lo dirige hacia la salida correspondiente de manera controlada. Este sistema es ideal para la manipulación de productos de tamaño medio y diferentes volúmenes, siendo especialmente recomendado para artículos frágiles.

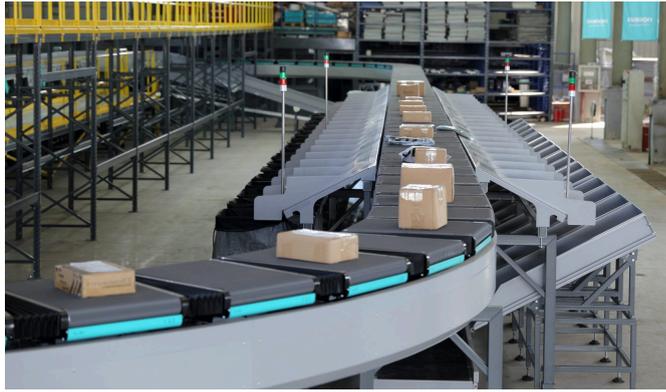


Figura 7: Cross-belt Sorter. [25]

2.5. Dimensionamiento de depósito y diseño de layout

2.5.1. Diseño Básico de Instalaciones

El diseño óptimo de un centro de distribución debe realizarse preferentemente en edificaciones de una sola planta y espacios diáfanos, ya que esta configuración ha demostrado ser más económica y eficiente operativamente. Asimismo, es fundamental establecer flujos de mercancías lógicos y eficientes que minimicen los tiempos de operación. El diseño debe incorporar además cierta flexibilidad que permita adaptarse a los cambios en la demanda y a las nuevas necesidades que puedan surgir con el tiempo. [29]

2.5.2. Zonificación Estratégica

Un centro de distribución bien organizado debe contar con áreas claramente definidas para garantizar la eficiencia de las operaciones. Las zonas básicas para el correcto funcionamiento son las siguientes [29]:

- Zona de Staging de Recepción
- Zona de Almacenamiento
- Zona de Preparación de Pedidos
- Zona de Staging de Expedición
- Zonas de Cross-docking
- Zonas Auxiliares: devoluciones, zona de auditoría, oficinas administrativas y servicios.

2.5.3. Diseño de Andenes

La planificación de los muelles y zonas de maniobra debe garantizar espacio suficiente para la aproximación, carga y descarga de los vehículos de transporte. Es fundamental ajustar la cantidad de muelles según el volumen operativo previsto, considerando las fluctuaciones estacionales de la demanda. Los tiempos estándar de operación deben ser analizados detalladamente para evitar congestiones y optimizar el uso de las instalaciones. El diseño debe prever posibilidades de expansión futura que respondan al crecimiento del negocio. [29] [30]

La fórmula de cálculo para la cantidad de andenes es [31]:

$$N = \frac{D \cdot H}{C \cdot S} = \frac{(D/C) \cdot H}{S}$$

Donde:

- **N** = Número de puertas necesarias
- **D** = Flujo promedio diario (unidad de carga⁷/día)
- **C** = Capacidad de cada vehículo (unidad de carga/vehículo)
- **H** = Tiempo requerido de carga y descarga promedio (hora/vehículo)
- **S** = Tiempo diario disponible para carga y descarga de vehículos (horas/día)

2.5.4. Principios de Distribución Interna del Almacén

2.5.4.1. Criterios de Ubicación

La ubicación de los productos debe responder a criterios de rotación, situando los artículos de mayor movimiento cerca de las zonas de salida para reducir los desplazamientos y agilizar las operaciones. Los productos se distribuyen también según su peso, ubicando los artículos más pesados en posiciones que minimicen el esfuerzo de manipulación y reduzcan riesgos ergonómicos. [\[29\]](#) [\[30\]](#)

2.5.4.2. Optimización del Layout

La optimización del layout debe enfocarse en evitar puntos de congestión que obstaculicen el flujo operativo continuo. Es esencial permitir una circulación eficiente tanto de mercancías como de personal, minimizando cruces y recorridos innecesarios. El layout debe considerar cuidadosamente las conexiones entre las distintas zonas operativas, garantizando transiciones fluidas en los procesos. Las restricciones arquitectónicas como pilares y columnas deben ser contempladas desde el inicio para integrarlas eficientemente en el diseño. Finalmente, todo el layout debe adaptarse a los medios de manipulación disponibles (transpaletas, auto elevadores, entre otros), considerando sus características y requerimientos de operación. [\[29\]](#) [\[30\]](#)

2.5.4.3. Flujo en “U”

La distribución en “U” dispone de todos los muelles en un lateral del edificio, lo que permite la unificación de muelles de carga y descarga, facilitando la asignación flexible de recursos. Contribuye a la optimización del uso de equipos y personal, al concentrar las operaciones en zonas cercanas. Proporciona un mejor acondicionamiento ambiental al reducir las corrientes de aire generadas por puertas opuestas. Adicionalmente, facilita futuras ampliaciones al dejar típicamente uno de los laterales disponible para expansiones. Su diseño proporciona adaptabilidad a cambios operativos, permitiendo reasignar recursos y modificar flujos según las necesidades cambiantes. [\[29\]](#) [\[30\]](#)

2.5.4.4. Factores de Planificación del Almacenamiento

La elección del tipo de estanterías, sean convencionales, compactas o dinámicas, debe responder a las características específicas de los productos y operaciones. La maquinaria de manipulación disponible determina en gran medida la configuración y dimensiones de los pasillos y áreas de trabajo. La altura máxima aprovechable debe ser analizada considerando tanto las restricciones del edificio como las capacidades de los equipos de manipulación. El sistema de gestión de stocks influye directamente en la distribución física, determinando necesidades de acceso y localización. Es necesario evaluar el impacto de la estacionalidad y promociones en la demanda de espacio, previendo áreas flexibles para estos picos. [\[29\]](#) [\[30\]](#)

⁷ La unidad de carga puede ser cajas o pallets.

3. Caso de estudio

3.1. Descripción General y Antecedentes

El presente caso de estudio se centra en una destacada cadena de supermercados, fundada en Uruguay hace más de 150 años.

Actualmente, la empresa se posiciona como una de las principales cadenas del sector supermercadista en el país, con 80 sucursales distribuidas en siete departamentos, abarcando tanto la marca principal de super e hipermercados, como una línea secundaria de autoservicios. En los últimos años, la empresa ha experimentado un crecimiento sostenido y ha manifestado su intención de alcanzar 100 sucursales en los próximos cinco años.

3.2. Operaciones Logísticas y de Abastecimiento

Las sucursales son abastecidas mediante dos centros de distribución diferenciados: uno enfocado en alimentos y otro destinado a productos “non-food” (incluyendo secciones de limpieza, electrodomésticos, bazar, textil y ferretería). En conjunto, dichos centros cuentan con 155 funcionarios, que abarcan desde personal operativo (picking, recepción, expedición, autoelevadoristas) hasta empleados administrativos y jefes. El flujo de ingreso involucra mercadería de más de 300 proveedores centralizados. A estos proveedores, se les cobra una tasa mensual por el servicio de centralización, ya que se hace cargo de las operaciones de almacenamiento, preparación de pedidos y distribución a los puntos de venta. Aquellos que no están centralizados realizan por su cuenta la distribución a las sucursales y no se les cobra la tasa mensual.

Por otra parte, la empresa comercializa productos de marca propia, los cuales son fabricados por proveedores externos. La compra de estos productos se realiza en grandes volúmenes según los acuerdos comerciales pautados, aprovechando así también la economía de escala.

En lo que respecta a las operaciones en los almacenes, los productos se almacenan en racks en pallets y el picking se hace mayoritariamente con una granularidad de caja máster. No obstante, existen casos particulares —como el de las golosinas y alfajores— en los que el almacenaje y picking se hace en sub empaque, también llamado inner pack o empaque secundario. Es únicamente para estos casos en los que los pedidos se preparan con esta granularidad (inner pack), y no la de caja master. Esta operación resulta altamente ineficiente en términos de espacio, ya que el uso de estanterías convencionales no se adapta adecuadamente al volumen ocupado por las cajas inner, generando importantes espacios desocupados.

La metodología predominante para el abastecimiento en el depósito consiste en mantener un stock almacenado de todos los productos para satisfacer la demanda de las diversas sucursales. En casos puntuales se emplea la metodología de cross-docking, aplicada únicamente a unos pocos proveedores y determinadas sucursales. En estos casos, el pallet de ingreso ya se encuentra armado para una sucursal específica, de modo que, en el depósito solo se requiere trasladar dicho ingreso a la zona de expedición para su envío correspondiente. Según lo analizado en la sección 2.3.1.1, esta modalidad se identifica como cross-docking predistribuido o directo.

3.3. Desafíos Operacionales y Logísticos

La empresa enfrenta constantes desafíos derivados del dinamismo del sector y de las crecientes exigencias para brindar un servicio de excelencia. Dichos retos se enmarcan en los siguientes aspectos.

3.3.1. Limitaciones en las sucursales de autoservicio

Estas pequeñas tiendas, que buscan ofrecer la mayor variedad de productos en un espacio reducido, deben enfrentar el desafío de seleccionar los productos a comercializar y garantizar su disponibilidad constante. La escasez de espacio obliga a priorizar el área de venta sobre la de depósito, lo que a su vez obliga al departamento de logística a abastecer las tiendas con mayor frecuencia y en volúmenes menores. Además, considerando que la granularidad manejada es caja master en la mayoría de los casos, las sucursales pueden recibir cantidades superiores a las estrictamente necesarias, manteniendo inventarios de productos de baja rotación por períodos prolongados.

3.3.2. Centralización de la Logística

Si bien la empresa ha mantenido un crecimiento constante en la centralización de los proveedores, aún no se ha conseguido la centralización total. Varios de ellos continúan con la distribución de forma independiente, entregando la mercadería directamente en las sucursales. Esta situación responde a limitaciones de capacidad de los depósitos actuales, ya que el espacio de almacenamiento se encuentra al máximo de su capacidad y la operación no podría absorber la incorporación de un número significativo de nuevos proveedores sin afectar su eficiencia.

La expansión y adopción de una logística centralizada es una decisión estratégica. Este enfoque permite optimizar las operaciones en los puntos de venta, garantizar una mayor disponibilidad de productos para los clientes y potenciar las economías de escala en los centros de distribución, lo que se traduce en una reducción del costo.

Además, este modelo genera un ingreso adicional significativo a través de la cuota mensual de centralización.

3.3.3. Dificultades Derivadas de la Existencia de Dos Depósitos Separados

La operación en dos depósitos separados dificulta la consolidación de los envíos hacia una misma sucursal, un proceso que sería posible en un espacio unificado. Esta fragmentación genera un incremento en los costos de transporte y de personal, debido a la duplicidad de funciones al operar en dos ubicaciones físicas distintas.

Asimismo, como se mencionó anteriormente, los depósitos actuales han alcanzado su capacidad máxima, y su configuración resulta insuficiente para absorber el crecimiento de las operaciones intralogísticas.

3.4. Propuestas de Mejora y Nuevas Metodologías

En vista de los desafíos expuestos se concluye que, a futuro, la empresa debería construir un centro de distribución unificado que integre las operaciones de ambos depósitos actuales y amplíe su capacidad operativa. Esta medida permitiría absorber el crecimiento proyectado de la compañía, optimizar el uso de los recursos y reducir los costos operativos.

Asimismo, resultaría fundamental para continuar con la centralización y unificación de los proveedores en una única instalación. Esta expansión debería ir acompañada de la incorporación de nuevas tecnologías, orientadas a enfrentar los desafíos específicos de la logística en el sector retail, tal como se detalla en la sección 2.1.2 del marco teórico.

Adicionalmente, se busca implementar una metodología de cross-docking híbrido. Tal como se menciona en la sección 2.3.1.1 del marco teórico, esta modalidad contempla el despacho de pedidos a las sucursales mediante la combinación de productos en stock y cross-docking consolidado. Se reconoce que esta metodología es altamente eficiente en términos de ahorro de tiempo y optimización de recursos; sin embargo, su implementación se encuentra actualmente limitada por la falta de espacio disponible.

Por último, con el objetivo de aprovechar al máximo el espacio de almacenamiento en las pequeñas sucursales, se ha manifestado interés en gestionar los productos a nivel de unidades. Esta estrategia permitiría responder con mayor precisión a la demanda, evitando el estancamiento de inventario por períodos prolongados y optimizando tanto el uso del área de almacenamiento, como el espacio disponible en el piso de venta.

3.5. Objetivo del proyecto

Ante el inminente desarrollo de un nuevo centro de distribución que permita atender todas las necesidades mencionadas en la sección anterior, el presente proyecto tiene como objetivo:

Dimensionar y diseñar un sistema que integre automatismos y tecnologías avanzadas para optimizar las operaciones en el nuevo centro de distribución. Este sistema tiene como propósito reducir los costos operativos y mejorar la productividad, incorporando procesos de cross-docking y picking unitario.

3.6. Alcance del proyecto

En primera instancia, el proyecto se centrará en la determinación del método óptimo de abastecimiento para cada SKU, estableciendo si será gestionado mediante cross-docking o mediante almacenamiento en stock, así como definiendo la granularidad más adecuada para su manejo, ya sea en caja master, inner pack o unidades.

Para este estudio, se adoptará la hipótesis de una centralización total⁸ de proveedores, bajo el supuesto de que, en un contexto de innovación y expansión dentro de un centro de distribución de alta capacidad, los proveedores optarían por ceder la logística a la empresa. Esto se debe a que, al operar a mayor escala, la empresa podría negociar precios más competitivos y optimizar la eficiencia del abastecimiento.

⁸ Únicamente quedan 3 proveedores fuera del estudio, que por la magnitud y capacidad logística de dichas empresas no se centralizan.

Posteriormente se evaluarán alternativas de operación con distintos niveles de automatización, identificando los recursos necesarios en términos de mano de obra, infraestructura y automatismos. Asimismo, se dimensionarán y diseñarán los layouts del centro de distribución para cada una de las alternativas propuestas. Se explorará una alternativa manual, que consiste en operaciones básicas y con poca dependencia de la tecnología, seguida de dos alternativas híbridas, que combinan tecnologías y procesamiento manual. Finalmente, se analizará una opción automática, que incorpora el mayor grado de automatización, reduciendo significativamente la intervención humana en los procesos del centro de distribución.

Para la comparación de opciones, se llevará a cabo un análisis económico y financiero, junto con una evaluación de productividad basada en indicadores clave de desempeño. A partir de estos resultados, se recomendará la operación más adecuada.

El horizonte del proyecto se establece en 10 años, permitiendo proyectar un crecimiento sostenido en el diseño de las operaciones, la infraestructura y los beneficios económicos y financieros de las distintas alternativas analizadas.

El estudio excluye ciertos aspectos para garantizar el cumplimiento del marco temporal del proyecto. No se considerarán alternativas de operación y automatización para la gestión de stock palletizado y picking en caja master, asumiendo en su lugar una operativa manual como la que utiliza la empresa en la actualidad.

Quedan fuera del alcance los productos que requieren temperatura controlada: carnicería, fiambrería, panadería, rotisería, frutas, verduras y lácteos, enfocándose únicamente en productos secos. Así como también quedan fuera de consideración los productos vendidos en farmacia y toda la mercadería de insumos de producción y gastos internos de la empresa.

Finalmente, se excluirán del diseño del layout y de la evaluación económica elementos no relacionados estrictamente con las operaciones, como la obra civil, la adquisición de terreno, el diseño de oficinas administrativas, baños, elementos estructurales, entre otros.

4. Análisis cuantitativo y dimensionamiento del problema

En esta sección se abordará el dimensionamiento y análisis numérico del caso de estudio, estableciendo las bases para la construcción de la solución. Para ello, se definirán los criterios de clasificación que permitirán determinar la operación de abastecimiento más adecuada para cada SKU, así como su granularidad óptima.

A partir de estos criterios de clasificación, se cuantificará la distribución de los SKU en cada categoría de método de abastecimiento y granularidad, lo que facilitará el análisis de los movimientos y flujos operativos asociados. Este proceso permitirá estructurar un marco numérico sólido para el desarrollo del proyecto.

Asimismo, se examinarán las proyecciones de crecimiento anual y se calcularán los picos de venta, evaluando su impacto sobre los resultados previos.

4.1. Criterios y cálculos para definir metodología de abastecimiento y granularidad óptima

Para determinar el método de operación óptimo, ya sea stock o cross-docking, se establecieron 12 criterios detallados en la Tabla 1.

Tabla 1: Tabla de reglas para la mejor metodología de operación.

Regla N°	¿SKU suspendido del surtido?	Importado	Marca Propia	ABC según rotación	ABC según valor	Mejor Método
M1	Sí					Suspendido
M2	No	Sí				Stock
M3	No	No	Sí			Stock
M4	No	No	No	A	A	Stock
M5	No	No	No	A	B	Stock
M6	No	No	No	B	A	Stock
M7	No	No	No	B	B	Cross-dock
M8	No	No	No	B	C	Cross-dock
M9	No	No	No	C	B	Cross-dock
M10	No	No	No	C	C	Cross-dock
M11	No	No	No	A	C	Cross-dock
M12	No	No	No	C	A	Cross-dock

A continuación se explica el propósito de cada criterio, basado en el marco teórico previamente desarrollado y en los objetivos definidos por la contraparte:

- **M1:** Si el producto se encuentra suspendido, es decir, se dio de baja del surtido de productos a la venta, se debe excluir del análisis, catalogándose como suspendido.
- **M2:** A partir de lo establecido en la sección 2.3.1 del marco teórico se establece que no es conveniente que los productos importados se operen mediante cross-docking, por lo que se almacenarán en stock.
- **M3:** Los productos de marca propia se almacenan en stock, dado que se producen en grandes volúmenes y en periodos determinados.
- **M4:** Los productos clasificados como A tanto en rotación como en valor monetario son fundamentales para las sucursales, ya que tienen alta rotación y generan altos ingresos. Es esencial mantener un stock de seguridad para evitar faltantes.
- **M5 y M6:** Productos clasificados como A en valor y B en rotación, o viceversa, se consideran igualmente importantes, y es por esto que la contraparte desea mantenerlos en stock.
- **M7:** Los productos clasificados como B en ambas categorías (rotación y valor monetario) pueden manejarse mediante cross-docking, no existen restricciones estrictas que requieran su almacenamiento en stock.
- **M8, M9, M10, M11 y M12:** Estas reglas contemplan combinaciones de productos con menor importancia en rotación y ventas. Este tipo de productos califican para el cross-docking, pues esta metodología permite reducir costos de almacenamiento y picking para productos de baja rotación. En casos de rotación elevada, el cross-docking ayuda a reducir costos de inventario, mientras que, para productos de baja rotación, se evita asignar espacio de almacenamiento a productos que pueden solicitarse según demanda.

Por otra parte, para determinar la granularidad óptima, caja master, inner pack o unidades, se establecieron 6 criterios detallados en la Tabla 2. La aplicación de estos criterios tiene como objetivo satisfacer la demanda de las sucursales con mayor precisión, reduciendo así el aprovisionamiento de stock innecesario que tiende a almacenarse durante períodos prolongados en las tiendas.

Tabla 2: Tabla de reglas para la mejor granularidad de operación.

Regla N°	ABC Rotación	¿SKU con inner pack?	Días de inventario del Master pack	Días de inventario del Inner pack	Granularidad ideal
G1	A				Master
G2	B o C	Sí	≤30	≤30	Master
G3	B o C	Sí	>30	≤30	Inner
G4	B o C	Sí	>30	>30	Unitario
G5	B o C	No	≤30		Master
G6	B o C	No	>30		Unitario

Como se observa en la tabla, las reglas establecidas se basan en la rotación del producto y en la cantidad de días de inventario que representa una caja (ya sea inner pack o caja

master) en cada sucursal. Este enfoque permite un análisis más preciso de la rotación, especialmente para los productos clasificados como B y C. El umbral de 30 días se definió como referencia para este análisis, a partir del criterio acordado con la contraparte de considerar un mes como período estándar de inventario.

Las reglas de granularidad se aplican de la siguiente manera:

- **G1:** Los productos con alta rotación se manejan en su empaque de mayor volumen, es decir, caja master.
- **G2:** Si el producto cuenta con presentación en inner pack y los días de inventario tanto del master pack como del inner son iguales o inferiores a 30, el producto debe manejarse en master pack.
- **G3:** Si el producto cuenta con presentación en inner pack, la caja master representa más de 30 días de inventario, pero el inner pack menos de 30 días, el producto se manejará en inner pack.
- **G4:** Si la caja master e inner representan más de 30 días de inventario, el producto se manejará en forma unitaria.
- **G5:** Los productos sin presentación en inner pack y con días de inventario en caja master menores o iguales a 30 días, se manejarán en caja master.
- **G6:** En caso de que la caja master represente más de 30 días de inventario y no haya presentación en inner, el producto se manejará de forma unitaria.

Una vez definidos los criterios de clasificación para el método de abastecimiento y la granularidad óptimos, se procedió a aplicarlos sobre los datos reales de la empresa.

El análisis se realizó a partir de una base de datos de ventas correspondiente al período junio-agosto de 2024. El procesamiento se llevó a cabo en Power BI, considerando todas las ventas registradas en las sucursales de la cadena. En esta etapa se excluyeron las consideraciones detalladas en el alcance del proyecto, en la sección 3.6. El reporte completo se encuentra disponible en el Anexo Electrónico 1: “Reporte - Método Ideal de Abastecimiento.pbix”.

A partir de esta información, se determinó para cada producto el método de abastecimiento y la granularidad óptima. Luego, el reporte estima los movimientos diarios y semanales esperados en el centro de distribución para cada SKU y modalidad de abastecimiento, bajo la hipótesis de que las expediciones desde el depósito se corresponden con las ventas de las sucursales.

4.2. Marco numérico del problema

El estudio se abordó desde dos perspectivas: en primer lugar, se evaluó la cantidad de SKUs que corresponden a cada combinación de granularidad y método de abastecimiento; y en segundo lugar, se analizó el número de movimientos diarios y semanales que cada una de estas combinaciones genera en el centro de distribución.

4.2.1. Resultados por cantidad de SKUs

La Tabla 3 presenta una visión global de los resultados, exhibiendo la distribución de SKUs según dos variables: granularidad y método de abastecimiento.

Tabla 3: Cantidad de SKU por método y granularidad

Cantidad de SKU	Cross-dock	Stock	Total
Unitario	20.965	5.107	26.072
Master	5.139	4.688	9.827
Inner	49	3	52
Total	26.153	9.798	35.951
Total en %	73%	27%	100%

Como se puede visualizar en la Tabla 3, la mayor concentración de productos se encuentra en la categoría de cross-docking unitario. Algunos de los productos con mayor cantidad de movimientos dentro de esta categoría son: vinos, artículos de cuidado personal y panificados.

Luego, en cross-docking con granularidad en caja master se posicionan artículos como: mermeladas, gaseosas y pequeños electrodomésticos.

El stock con manejo unitario, está compuesto principalmente por productos importados, los cuales, por definición, deben ser almacenados en stock. En particular, una gran proporción de estos corresponden a artículos de bazar y textiles, los cuales presentan volúmenes de venta relativamente bajos. Por otro lado, dentro de esta misma categoría, los productos no importados incluyen aquellos de alto valor para la compañía pero con una baja rotación, como es el caso de los artículos de perfumería.

El stock en caja máster comprende productos de alta rotación con una contribución significativa a los ingresos. Esta categoría es bastante heterogénea, aunque se compone principalmente de comestibles, artículos de limpieza y bebidas. Además, incluye ciertos productos textiles importados y algunos artículos de marca propia.

Cabe destacar que el manejo en inner pack presenta una frecuencia considerablemente menor. Esto se debe principalmente a que, dentro de la base considerada, solo un 2% de los SKUs cuentan con este tipo de empaque, y de estos, la mitad son gestionados mediante caja master debido a su alta rotación. Como resultado, el número final de productos manipulados en inner pack es bajo.

En síntesis, se destacan tres aspectos clave: la predominancia del manejo unitario, la preferencia por el cross-docking y la baja proporción de productos gestionados en inner.

4.2.2. Resultados según cantidad de movimientos diarios en el centro de distribución

Posteriormente a obtener la categorización por SKU, se obtuvieron los movimientos promedio diarios en unidades y bultos, los cuales se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4: Movimientos diarios en unidades y cajas por método de almacenamiento y granularidad (Junio 2024-Agosto 2024).

Método	Granularidad	Unidades Diarias	%	Cajas Diarias	%
Cross-docking	Unitario	60.009	15%	3.915	12%
Cross-docking	Inner	590	0%	50	0%
Cross-docking	Master	72.416	18%	7.957	24%
Stock	Unitario	12.131	3%	657	2%
Stock	Inner	34	0%	3	0%
Stock	Master	260.102	64%	21.248	63%
Total		405.282	100%	33.830	100%

La columna *Unidades Diarias* indica la cantidad total de unidades movilizadas, mientras que la columna *Cajas Diarias* representa el equivalente en caja master. La carga operativa no es la misma cuando se movilizan unidades sueltas en comparación con el manejo de cajas completas, por lo que considerar ambas métricas es necesario y permite una visión más precisa de la operación.

4.3. Análisis de sensibilidad

Se considera pertinente realizar un análisis de sensibilidad para validar la consistencia de los parámetros utilizados en los criterios de categorización expuestos en la sección 4.1. El análisis de sensibilidad es una técnica utilizada para estudiar cómo la incertidumbre en un resultado puede atribuirse a diferentes fuentes de incertidumbre en sus entradas. Este análisis permitirá evaluar el impacto de posibles variaciones en dichos parámetros y asegurar que el dimensionamiento del problema y de las instalaciones mantenga su validez.

En el contexto de este estudio, la principal variable sujeta a incertidumbre es la cantidad de días de inventario (DDI) que representa una caja en una sucursal para determinar su granularidad de abastecimiento: inner pack, unitario o caja master. En el caso base, se establece que si una caja supera los 30 días de inventario en una sucursal, el pedido debe prepararse en una granularidad menor. Si bien este umbral fue proporcionado por la contraparte como referencia, resulta necesario perturbarlo evaluando tanto valores superiores como inferiores para determinar su impacto en el método de abastecimiento. Esto permite considerar escenarios en los que almacenar un producto durante 30 días en una sucursal no represente una limitación significativa, o, por el contrario, sea fundamental reducir este período a 15 o 20 días.

Se evaluaron distintos valores de DDI, con incrementos de 5 días, abarcando un rango de 5 a 60 días. Los resultados fueron analizados en función del impacto en los movimientos diarios, tanto en cajas como en unidades, para cada categoría. Los valores obtenidos para cross-docking y stock pueden visualizarse en las Tablas 5 y 6 respectivamente.

Tabla 5: Análisis de sensibilidad para días de inventario en cross-docking

Cross-docking DDI	Unitario		Inner		Master	
	Movimiento diario Cajas	%	Movimiento diario Cajas	%	Movimiento diario Cajas	%
5	5.696	16,8%	21	0,1%	6.205	18,3%
10	5.286	15,6%	18	0,1%	6.618	19,6%
15	4.871	14,4%	24	0,1%	7.027	20,8%
20	4.548	13,5%	26	0,1%	7.347	21,7%
25	4.200	12,4%	39	0,1%	7.682	22,7%
30	3.915	11,6%	50	0,2%	7.957	23,5%
35	3.596	10,6%	53	0,2%	8.272	24,5%
40	3.372	10,0%	61	0,2%	8.489	25,1%
45	3.174	9,4%	65	0,2%	8.683	25,7%
50	2.983	8,8%	69	0,2%	8.870	26,2%
55	2.826	8,4%	74	0,2%	9.021	26,7%
60	2.650	7,8%	82	0,2%	9.189	27,2%

Tabla 6: Análisis de sensibilidad para días de inventario en Stock

Stock DDI	Unitario		Inner		Master	
	Movimiento diario Cajas	%	Movimiento diario Cajas	%	Movimiento diario Cajas	%
5	1.773	5,2%	3	0,0%	20.131	59,5%
10	1.390	4,1%	0	0,0%	20.518	60,7%
15	1.090	3,2%	2	0,0%	20.815	61,5%
20	903	2,7%	3	0,0%	21.002	62,1%
25	748	2,2%	3	0,0%	21.157	62,5%
30	657	1,9%	3	0,0%	21.248	62,8%
35	542	1,6%	4	0,0%	21.362	63,2%
40	478	1,4%	4	0,0%	21.426	63,3%
45	438	1,3%	5	0,0%	21.464	63,5%
50	393	1,2%	6	0,0%	21.508	63,6%
55	358	1,1%	7	0,0%	21.542	63,7%
60	331	1,0%	7	0,0%	21.569	63,8%

En las Tablas 5 y 6 se observa que variaciones en los valores de DDI generan pequeños cambios en el porcentaje de movimiento diario. Este resultado es favorable, ya que sugiere que, incluso si el criterio de DDI utilizado se modifica o presenta cierto grado de imprecisión, los resultados obtenidos en el proyecto y el dimensionamiento del sistema no se verán significativamente afectados.

4.4. Proyección de crecimiento

El marco numérico presentado en la sección 4.2 fue calculado para el año 2024 y servirá como referencia inicial para el dimensionamiento de las instalaciones y la planificación de la mano de obra.

En los últimos años la empresa ha experimentado un fuerte crecimiento, impulsando un aumento en el volumen de mercadería en el depósito, directamente vinculado al incremento en las ventas. Como resultado, se prevé una mayor demanda de recursos y espacio de almacenamiento, factores clave que deben ser incorporados en los dimensionamientos y cálculos que se desarrollarán en las siguientes etapas del informe.

Dado que el marco temporal de análisis del proyecto abarca 10 años, se calcula el crecimiento anual esperado a lo largo de este periodo. En primer lugar, se consultó a la empresa sobre sus proyecciones para los próximos años. Según la información proporcionada, el plan contempla 20 nuevas sucursales, pasando de 80 a 100 en un plazo de cinco años.

Por otro lado, se asumió que la cantidad de SKUs se mantendrá constante en el tiempo. Esta decisión se basa en la política de surtido, que prevé la incorporación de nuevos productos únicamente en reemplazo de otros que se den de baja.

Para calcular el crecimiento anual, se extrajo una base de datos de ventas correspondiente al período comprendido entre octubre de 2021 y noviembre de 2024, considerando únicamente los artículos que representan el 95% de las ventas totales, siendo estos un total de 10.610 SKUs. A partir de esta información, se determinó la variación porcentual de crecimiento tanto de manera mensual como anual. El detalle de cálculo puede ser consultado en el Anexo electrónico 2 “Crecimiento y Zafra.xlsx”.

El crecimiento anual promedio calculado en función de las unidades vendidas fue de 6,88%. Sin embargo, este indicador podría no reflejar con precisión la variación real en los movimientos dentro del depósito, ya que no considera el volumen físico de mercadería a trasladar, que es el factor que impacta directamente en la operativa. Por ejemplo, un incremento en las ventas puede estar compuesto por muchas unidades pequeñas o por productos que se despachan en cajas completas, generando escenarios operativos muy distintos para el centro de distribución.

Por esta razón, se buscó complementar el análisis con un enfoque más representativo desde el punto de vista logístico, realizando un cálculo alternativo basado en cajas en lugar de unidades. Esta unidad de medida refleja con mayor fidelidad el volumen de trabajo en el depósito.

Para ello, se descargó una base de datos con las ventas por SKU desglosadas por mes. Utilizando la información disponible sobre la cantidad de unidades por bulto, se estimó la cantidad total de cajas para cada período.

El resultado de este análisis fue un crecimiento anual del 6,81%, valor que se encuentra alineado con el obtenido inicialmente, y que permite validar su consistencia, aun reconociendo sus limitaciones operativas.

A partir del crecimiento anual de los movimientos diarios estimado en 6,88%, se proyectó el aumento en las unidades diarias y los bultos diarios a lo largo del horizonte de análisis. Como ejemplo, se presenta el resultado obtenido para el año 5 en la Tabla 7. Los resultados de cada año están disponibles en el Anexo electrónico 3 "Marco con proyección de crecimiento.xlsx".

Tabla 7: Marco del problema proyectado - Año 5

Método	Granularidad	# SKU	%	Unidades Diarias	%	Cajas Diarias	%
Cross-docking	Unitario	20.965	58%	83.704	15%	5.461	12%
Cross-docking	Inner	49	0%	823	0%	70	0%
Cross-docking	Master	5.139	14%	101.010	18%	11.099	24%
Stock	Unitario	5.107	14%	16.921	3%	916	2%
Stock	Inner	3	0%	47	0%	4	0%
Stock	Master	4.688	13%	362.804	64%	29.638	63%
Total		35.951	100%	565.308	100%	47.188	100%

4.5. Crecimiento en zafra

Un factor relevante a considerar para el dimensionamiento adecuado del problema es el incremento durante el período de zafra o alta actividad. Durante los meses de diciembre y enero, se producen picos de ventas debido a las festividades y la zafra de verano.

Resulta fundamental dimensionar la magnitud de este crecimiento con respecto a la media de ventas que se da en el resto de los meses, para estar preparados para sostener las actividades a lo largo de todo el año. Al dimensionar las operaciones considerando este pico, durante los meses de menor actividad se dispondrá de capacidad ociosa, la cual puede resultar útil para afrontar otras contingencias, como importaciones de gran volumen que requieran almacenamiento anticipado, o promociones puntuales que generen un flujo intenso de mercadería en el depósito.

4.5.1. Cálculo de Aumento en periodo de Zafra

La información para el cálculo proviene de la base de datos de ventas mensuales en unidades y bultos, de octubre de 2021 hasta noviembre de 2024.

A partir de esta información, se calculó el porcentaje de aumento en las ventas durante los meses de diciembre y enero en comparación con un mes promedio, como julio o agosto, que fueron considerados para el análisis base inicial. Si bien la empresa atraviesa diversos períodos de zafra a lo largo del año, se eligieron estos dos meses por corresponder a la zafra de mayor actividad. De este modo, se asegura que el dimensionamiento realizado contemple el escenario más exigente, garantizando que el sistema estará preparado para afrontar adecuadamente el resto de los picos. El resumen de los resultados obtenidos se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8: Aumento de ventas en periodo de zafra 2021-2023

Año	Porcentaje de crecimiento
2021	37,1%
2022	29,0%
2023	22,9%
Promedio total	29,7%

El aumento durante el periodo de zafra, para los últimos tres años registrados en la base, demuestra ser en promedio del 29,7%.

Estos cálculos se documentan detalladamente en el Anexo electrónico 2 “Crecimiento y Zafra.xlsx”.

4.5.2. Categorización de Productos y Estrategia Operativa

Es importante aclarar que este crecimiento puede atribuirse a dos factores distintos:

- **Productos de temporada:** son artículos zafrales que se venden principalmente en este momento del año, como productos de consumo específico para las festividades de fin de año o artículos relacionados a la temporada de verano.
- **Productos de demanda incrementada:** son artículos que se venden durante todo el año y experimentan un crecimiento en ventas durante los meses de verano, como lo pueden ser las categorías de refrescos o helados.

Esta distinción resulta relevante porque los productos de la primera categoría, en adelante denominados "artículos zafrales", son candidatos ideales para ser gestionados mediante la modalidad de cross-docking, ya que no requieren almacenamiento prolongado y su presencia anticipada en los locales resulta favorable.

4.5.3. Dimensionamiento de Productos Zafrales

Se realizó un análisis para determinar el impacto de los productos zafrales en el aumento de ventas. En conjunto con la contraparte, se definió que un producto es zafral cuando los niveles de venta en diciembre superan en más de un 75 % su promedio de ventas mensual.

A continuación se puede ver en la Tabla 9 un extracto del análisis realizado en el Anexo electrónico 2 “Crecimiento y Zafra.xlsx”.

Tabla 9: Extracto de análisis de productos Zafrales

SKU	Descripción	Crecimiento periodo zafral / no zafral	¿Artículo Zafral?
455265	CIGARRILLO 10 BOX	3,90%	No
360002	PAN DULCE FRUTAS 400G	5860%	Zafral
506780	SERVILLETAS NAVIDEÑAS PACK X20 UBL	2220%	Zafral
71765	REFRESCO COLA REGULAR 1.5L	50,7%	No

El análisis reveló que los artículos zafrales constituyen un total de 1.575 artículos en un total de 10.610 SKUs considerados, lo que representa aproximadamente un 15%.

Es importante destacar que este 15% de artículos zafrales representa un 29,6% del total de movimientos de diciembre. Corresponde aclarar que este valor no es el mismo que el promedio de aumento de 29,7% expuesto en la Tabla 8, si bien la cifra es de similar magnitud.

Por consiguiente, este incremento de artículos zafrales será gestionado mediante la modalidad de cross-docking en granularidad caja master. El resto de los productos que aumentan sus ventas en la zafral de verano son gestionadas siguiendo la misma distribución porcentual expuesta en la Tabla 4.

4.5.4. Resultado del marco numérico del problema

Al resultado obtenido para el año 5 en la sección 4.4, que contempla el crecimiento anual de los movimientos diarios del centro de distribución, se le aplicó el ajuste por zafral con el objetivo de dimensionar los sistemas y las operaciones a partir de estos valores, previendo así los picos de movimiento en el depósito. En la Tabla 10 se presentan los valores correspondientes al quinto año de ejercicio.

Tabla 10: Comparación de cajas diarias por categoría - Año 5 vs Año 5 + Zafral

AÑO 5		Periodo de ventas ordinario (Ej: Julio)		En zafral (Diciembre - Enero)	
Método	Granularidad	Cajas Diarias	%	Cajas Diarias	%
Cross-docking	Unitario	5.461	12%	6.602	11%
Cross-docking	Inner	70	0%	85	0%
Cross-docking	Master	11.099	24%	17.560	29%
Stock	Unitario	916	2%	1.108	2%
Stock	Inner	4	0%	5	0%
Stock	Master	29.638	63%	35.830	59%
Total		47.188	100%	61.189	100%

5. Alternativas de solución

En esta sección, se presentan cuatro alternativas de solución al problema planteado, incorporando distintos grados de automatización. Estas alternativas van desde una opción sin automatización, orientada hacia un modelo manual, pasando por alternativas intermedias o "híbridas", hasta llegar a una opción con la máxima incorporación de tecnología y mínimo procesamiento humano. La selección de la alternativa más adecuada dependerá de los requerimientos específicos del proyecto, el volumen de operación previsto, la inversión disponible, la complejidad operativa deseada, la flexibilidad requerida y la escalabilidad futura.

Cabe aclarar que, en adelante, la manipulación de los SKU clasificados para inner pack se gestionará de la misma manera que los productos a manejar en unidades, dado que ambos requieren la apertura de cajas master. Además, debido a la baja cantidad de estos SKU, no se justifica el desarrollo de una operación diferenciada, por lo que serán integrados dentro del mismo flujo operativo.

A continuación, se presenta una introducción a las alternativas de soluciones propuestas y las tecnologías incorporadas en cada una de ellas. En la sección 8 de este informe se ofrece un detalle más exhaustivo sobre el funcionamiento específico de las operaciones, así como sobre la interacción y los flujos entre los sistemas propuestos para cada alternativa.

5.1. Alternativa Manual

La alternativa manual se caracteriza por involucrar la menor cantidad de innovación tecnológica entre las opciones propuestas. En esta configuración, se busca realizar las operaciones de forma simple y existe una gran cuota de intervención humana en los procesos.

En la Tabla 11 se explicitan las soluciones propuestas para cada sub operación.

Tabla 11: Alternativa Manual - Soluciones por método y granularidad

Método	Granularidad	Solución
Cross-docking	Master	Distribución manual en pallets
Cross-docking	Unitario	Distribución manual en cajones
Cross-docking	Inner	Distribución manual en cajones
Stock	Master	Picking tradicional en cajas
Stock	Unitario	Picking tradicional en unidades
Stock	Inner	Picking tradicional en unidades

En lo que respecta al cross-docking, se considerará una operación manual. Para los productos en la categoría de manejo en caja máster, se propone la distribución de los bultos directamente sobre roll containers⁹ diferenciados por sucursal. En el caso de manejo unitario e inner, se sigue una operación análoga pero distribuyendo los productos en cajones de plástico, también diferenciados por sucursal.

⁹ Un roll container es una jaula metálica con 4 ruedas para almacenar, transportar y distribuir mercadería.

En cuanto al stock, el manejo de los productos en la categoría máster se trabajará con racks selectivos y picking con PDA. En esta alternativa manual, también se asume un manejo similar para las granularidades menores de unidades e inner packs.

5.2. Alternativa Híbrida (-)

Esta alternativa incorpora un nivel intermedio de tecnología para asistir las operaciones, optimizando procesos clave mientras mantiene un balance con la intervención humana.

A continuación se presenta la Tabla 12, donde se detalla un resumen de las soluciones determinadas para la alternativa Híbrida (-).

Tabla 12: Alternativa Híbrida (-) - Soluciones por método y granularidad

Método	Granularidad	Solución
Cross-docking	Master	Shoe Sorter
		<i>Ingreso de bultos: Manual</i>
		<i>Sub-clasificación: Clasificación en roll container</i>
Cross-docking	Unitario	Put to light en cajones
Cross-docking	Inner	Put to light en cajones
Stock	Master	Picking tradicional en cajas
Stock	Unitario	Zone picking con AMR
Stock	Inner	Zone picking con AMR

Para la operativa de cross-docking, se propone la implementación de un sistema de clasificación automática mediante un sorter. Tal como se describe en el marco teórico en la sección 2.4.5, este tipo de automatismos agiliza la distribución de productos entre distintas sucursales.

El tipo de sorter seleccionado para esta operación es un Shoe Sorter, gracias a su adaptación a una gran variedad de bultos con distinto peso y volumen, una característica clave al considerar la variedad en el surtido que se trabaja. El escáner del sorter lee los códigos de barra de las cajas, identifica el producto y de acuerdo a la demanda de las sucursales lo deriva a la rama correspondiente, como se puede ver en la figura 3, previamente presentada.

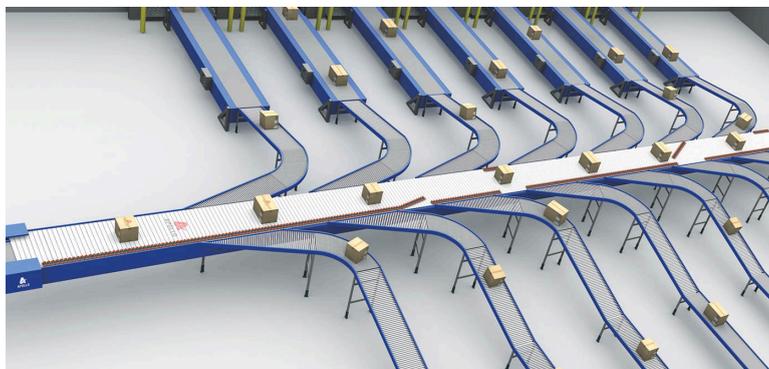


Figura 3: Sorter. [24]

Sin embargo, este tipo de sorter no es conveniente para realizar operaciones de cross-docking unitario, dadas las reducidas dimensiones de las unidades y la adicional complejidad que implicaría abrir todas las cajas en el punto de ingreso al sistema.

Para evitar esta situación, se introduce en el sorter la totalidad de las cajas master destinadas al proceso de cross-docking, independientemente de su granularidad. El sorter clasifica los bultos que requieren apertura (es decir, aquellos correspondientes a manejo en inner y unitario) hacia una rama específica. A la salida de esta rama, se lleva a cabo la apertura de las cajas y una sub-clasificación manual de unidades mediante un sistema put-to-light en cajones. Esta tecnología, ampliamente utilizada en el mercado para optimizar los procesos de clasificación, se detalla en la sección 2.2.1 del informe.

En lo que respecta al stock, el manejo de productos en caja master se mantiene igual que en la alternativa manual. Sin embargo, para el manejo de unidades, se incorpora una solución basada en AMRs.

Los AMRs utilizados en esta operación se muestran en la figura 8 y están compuestos por una base móvil que les permite desplazarse por el depósito, una pantalla táctil donde se presenta la información relevante para el picking y varios cajones destinados al transporte de los pedidos en proceso.



Figura 8: AMR para asistencia en el armado de pedidos. [\[32\]](#)

En esta operativa, los AMRs asisten al proceso de picking manual bajo una metodología de Zone Picking, descrita en la sección 2.2.1 del marco teórico, donde los operarios se encuentran estratégicamente distribuidos en zonas delimitadas. Cada operario trabaja exclusivamente dentro de su zona, colaborando con los cobots para realizar la recolección de productos.

Los AMRs recorren las distintas zonas según los requerimientos de los pedidos en preparación. Al llegar frente a la ubicación del SKU correspondiente, se detienen y esperan la intervención del operario. Este toma la cantidad indicada desde la estantería, la deposita en el cajón asignado del AMR y confirma la operación a través de la pantalla táctil. Una vez validada la transacción, el robot continúa automáticamente hacia la siguiente ubicación, repitiendo el proceso hasta completar el pedido. Paralelamente, el operario se dirige a otro AMR detenido dentro de su zona para repetir la operación.

Esta metodología permite que los operarios se concentren en la recolección de productos, mientras los robots recorren las distancias dentro de la zona de almacenamiento, reduciendo así los desplazamientos del personal.

5.3. Alternativa Híbrida (+)

Esta alternativa incrementa significativamente el nivel de automatización mediante la incorporación de tecnologías avanzadas en procesos críticos, manteniendo intervención humana en puntos específicos del sistema.

A continuación se presenta la Tabla 13, donde se detalla un resumen de las soluciones determinadas para la alternativa híbrida (+).

Tabla 13: Alternativa Híbrida (+) - Soluciones por método y granularidad

Método	Granularidad	Solución
Cross-docking	Master	Shoe sorter
		<i>Ingreso de bultos:</i> Cobot despaletizador
		<i>Sub-clasificación:</i> Clasificación en roll container
Cross-docking	Unitario	Sorter de AMRs
Cross-docking	Inner	Sorter de AMRs
Stock	Master	Picking tradicional en cajas
Stock	Unitario	AMR robot picking "in-aisle"
Stock	Inner	AMR robot picking "in-aisle"

En esta alternativa, se mantiene el uso del shoe sorter para la clasificación de cross-docking master. Aunque el proceso de ingreso de bultos es realizado por un cobot despaletizador, cuya función principal es la manipulación automatizada de los bultos.

Este cobot toma los bultos de los pallets ubicados frente a él y ejecuta una operación de pick & place¹⁰, en la cual extrae las cajas y las deposita en la zona de entrada al sorter, permitiendo su ingreso al sistema. Para su funcionamiento, se definen dos posiciones en el suelo destinadas a la colocación de los pallets a despaletizar. A través de sensores, el cobot detecta las cajas, las toma y las ingresa al sistema. La disposición del cobot y los pallets responde a una configuración como la que se muestra en la figura 9.

¹⁰ "Pick & place" refiere a la operación en la que un robot toma un objeto de un lugar y lo deposita en otro.



Figura 9: Cobot despaletizador. [33]

A su vez, al igual que en la alternativa anterior, el sorter clasifica los bultos que requieren apertura (es decir, aquellos correspondientes a granularidad inner y unitaria) hacia una rama específica (Rama unitaria). A la salida de esta rama, se realiza la apertura de las cajas y una subclasificación mediante un método distinto al presentado en la opción Híbrida (-).

En esta alternativa, la clasificación de los bultos de cross-docking unitario se realiza mediante un segundo sistema operado por robots móviles autónomos, denominado sorter de AMRs.

Este sistema está compuesto por una plataforma elevada y estanterías laterales con cajones asignados a cada sucursal. Sobre la plataforma circulan los AMRs de clasificación primaria, mientras que en los pasillos laterales operan los robots de clasificación secundaria. Esta distribución se puede observar en la figura 10 y 11.

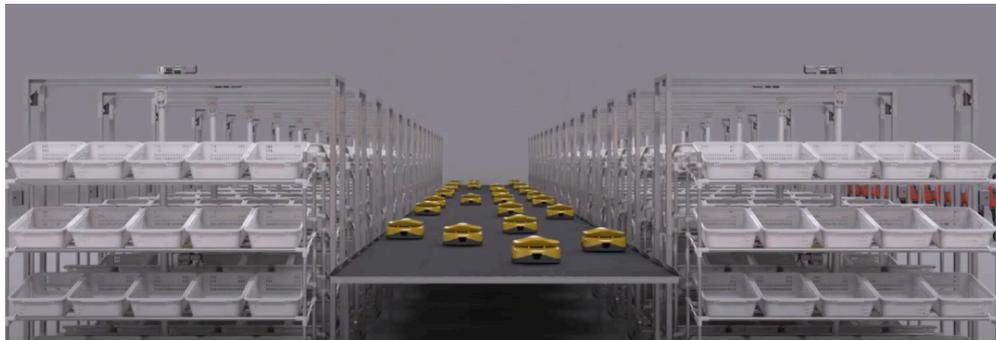


Figura 10: Sorter de AMRs. [34]

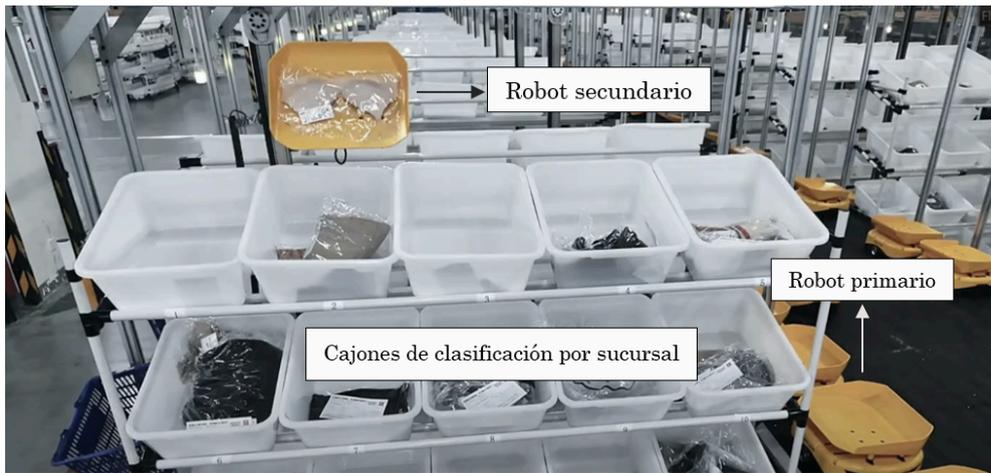


Figura 11: Cajones de clasificación por sucursal, robot primario y robot secundario. [\[34\]](#)

Los AMRs de clasificación primaria están equipados con bandejas inclinables donde se transporta cada unidad de producto, como se muestra en la figura 12.



Figura 12: AMR de clasificación primaria de Sorter AMRs. [\[35\]](#)

Una vez que se deposita un producto en la bandeja del AMR, éste se posiciona debajo de una cámara que detecta el SKU y le transmite a que sucursal de destino se corresponde el producto. Luego, el AMR se desplaza hasta la estantería en la cual se encuentra la sucursal correspondiente, inclina la bandeja y deja caer la unidad sobre la bandeja del robot de clasificación secundaria. Este último es capaz de desplazarse tanto horizontal como verticalmente en su pasillo de estantes y deposita la unidad en el cajón designado.

En la figura 13 se visualiza un esquema del layout y la disposición de los robots en cuestión.

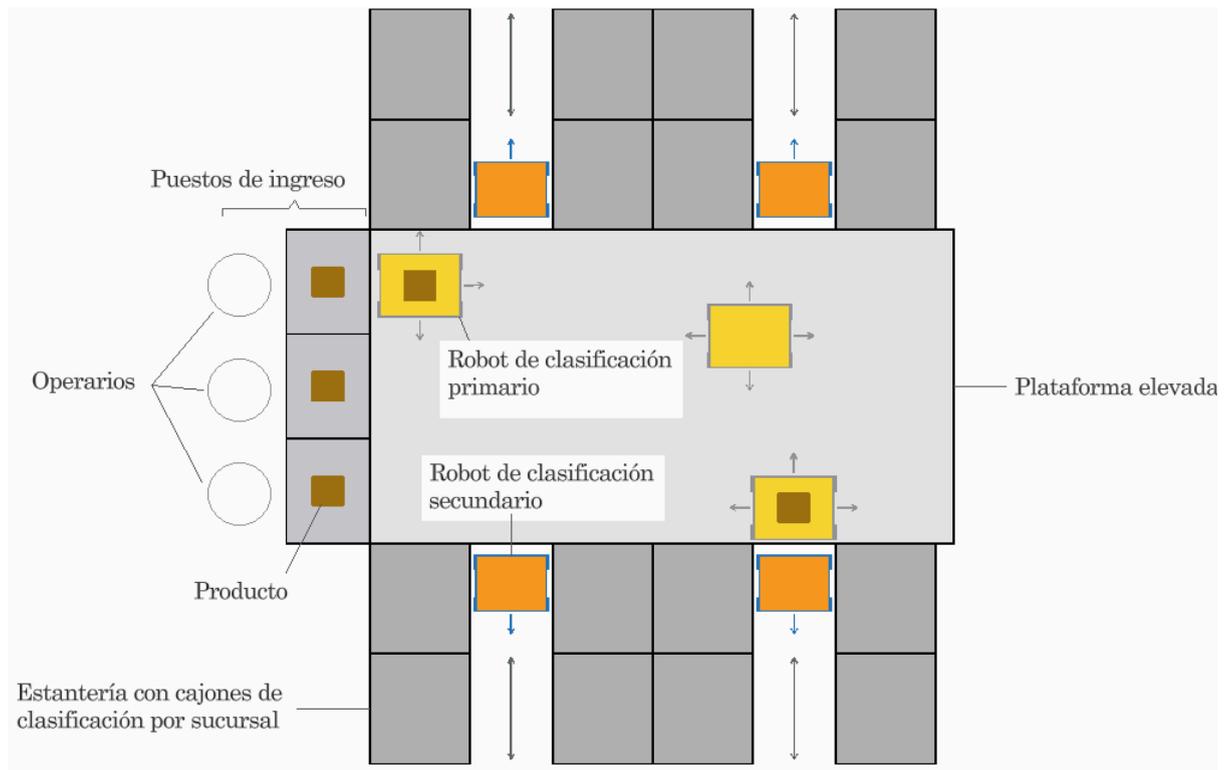


Figura 13: Diagrama de layout de Sorter de AMRs.

En cuanto a la gestión del stock de productos inner y unitarios, esta alternativa introduce un mayor grado de automatización, mediante un sistema denominado AMR robot picking "in-aisle".

El sistema está compuesto por estanterías de almacenamiento compacto, cajones plásticos donde se guardan los productos, y cobots capaces de realizar el picking de forma autónoma en los pasillos.

Los cobots son AMRs equipados con posiciones para ubicar dos cajones y un brazo robótico integrado, como se muestra en la figura 14. En el extremo del brazo cuentan con un efector final de vacío, diseñado para succionar distintos artículos y desplazarlos con precisión.

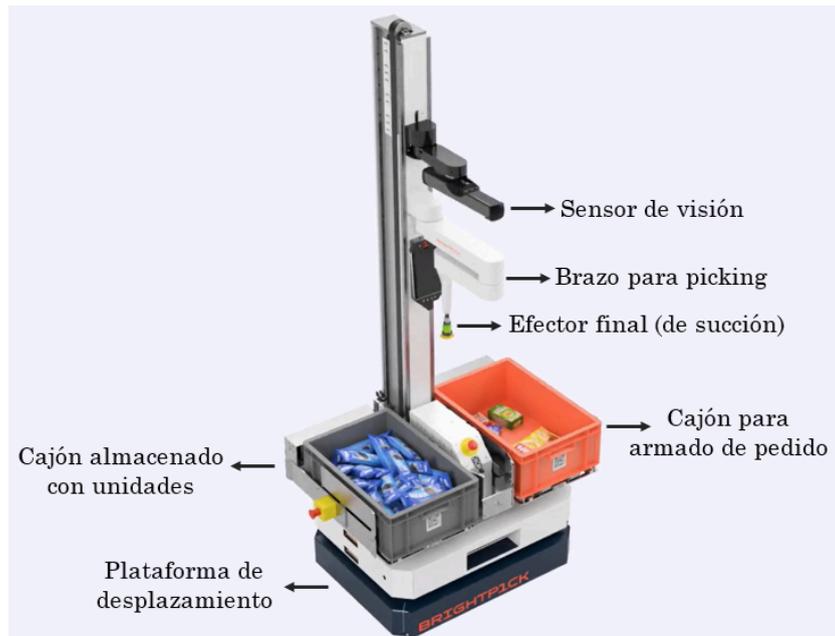


Figura 14: AMR para “in aisle” picking. [36]

Las estanterías de alta densidad permiten almacenar un gran número de SKUs y también combinaciones de productos en un único cajón cuando las cantidades son reducidas, utilizando separadores que dividen el cajón en múltiples espacios.

El ingreso de productos al sistema se realiza con la asistencia de un operario, quien se encarga de desarmar la caja master y depositar las unidades en un cajón plástico. Este cajón se coloca en una estantería definida, desde donde un AMR lo recoge para ubicarlo en la posición más óptima dentro del sistema. La figura 15 muestra un diagrama de las estanterías compactas y la estación de ingreso.



Figura 15: Estación de ingreso en sistema de stock unitario compacto. [37]

Durante el proceso de picking, el AMR utiliza sus dos posiciones de cajón: una destinada a la preparación del pedido y otra para extraer los cajones desde las estanterías, donde se encuentran los productos. El AMR recorre los pasillos, localiza los SKUs requeridos, retira el cajón correspondiente, extrae la cantidad necesaria de unidades y las deposita en el cajón de armado del pedido.

Las figuras 16 y 17 ilustran la secuencia del picking, mostrando la extracción del cajón desde la estantería y el traspaso de unidades hacia el cajón de armado.



Figura 16: Secuencia de extracción del cajón plástico de la estantería.[\[38\]](#)



Figura 17: Picking autónomo realizado AMR para “in aisle” picking.[\[36\]](#)

Sin embargo, el sistema requiere una estación del tipo goods-to-person a la cual el robot acude cuando no puede manipular determinados productos debido a su forma irregular o peso excesivo.

En esta estación, un operario asiste al AMR, que llega con dos cajones: uno con el SKU a pickear y otro asignado al pedido en proceso. Una pantalla indica la cantidad de unidades requeridas, y el operario transfiere los artículos de un cajón a otro. Una vez confirmada la operación, el robot continúa con el proceso de forma autónoma.

Al finalizar el pedido, el AMR se dirige a una estación específica con estanterías destinadas al depósito de cajones vacíos y pedidos finalizados.

5.4. Alternativa Automática

Esta alternativa representa la solución con mayor nivel de automatización, minimizando la intervención humana y maximizando la eficiencia operativa mediante la implementación de tecnologías avanzadas en todas las etapas del proceso.

A continuación se presenta la Tabla 14, donde se detalla un resumen de las soluciones determinadas para la alternativa automática.

Tabla 14: Alternativa Automática - Soluciones por método y granularidad.

Método	Granularidad	Solución
Cross-docking	Master	Shoe Sorter
		<i>Ingreso de bultos: Cobot despaletizador</i>
		<i>Sub-clasificación: AMR con brazo "pick & place"</i>
Cross-docking	Unitario	Sorter de AMRs
Cross-docking	Inner	Sorter de AMRs
Stock	Master	Picking tradicional en cajas
Stock	Unitario	AMR robot picking "in-aisle"
Stock	Inner	AMR robot picking "in-aisle"

En esta alternativa, las soluciones se mantienen sin cambios con respecto a la opción Híbrida (+) (sección 5.3), con la excepción de la metodología de subclasificación en las salidas del shoe sorter, donde se reemplaza el sistema manual de clasificación por AMRs con brazo robótico encargados de realizar operaciones de pick & place. Un ejemplo de este tipo de robots se puede ver en la figura 18.



Figura 18: AMR con brazo para pick & place de bultos. [39]

Estos cobots, que combinan la movilidad de los AMRs con la capacidad de manipulación de un brazo robótico, cuentan además con sensores de visión que facilitan el reconocimiento y escaneo de las cajas, asegurando la correcta identificación de los SKU y la verificación de las sucursales destino dentro del sistema. Pueden desplazarse hasta la rama de salida del sorter, recoger el bulto correspondiente y depositarlo en el roll container de la sucursal asignada.

6. Dimensionamiento de sistemas

En la siguiente sección se explican los cálculos realizados para el dimensionamiento del centro de distribución, los cuales se verán reflejados en el layout. Se optó por dimensionar el centro en función del crecimiento proyectado al año 5, incluyendo el período de zafra. De esta forma, se busca asegurar varios años de operación sin que la capacidad sea superada rápidamente por el aumento de la demanda. Si bien no se dimensionó para un horizonte más lejano debido a la incertidumbre asociada, el diseño del layout contempla posibles direcciones de expansión futura, permitiendo crecer cuando sea necesario.

Es importante aclarar que el dimensionado de las áreas de staging¹¹ de recepción y expedición, la cantidad de andenes y las estanterías para stock máster son iguales para las 4 alternativas de operación propuestas. Las operaciones de cross-docking y la de stock unitario si varían dependiendo de la alternativa.

En esta sección, se presentarán únicamente los cálculos más complejos y las definiciones específicas. Las áreas y cantidades no mencionadas aquí serán determinadas una vez que se configuren los layouts, ya que requieren decisiones adicionales que se van ajustando a medida que se desarrolla el diseño. Ejemplos de estos aspectos incluyen la cantidad de pasillos, el área de almacenamiento y la ocupada por el sorter, entre otros.

6.1. Sorter

En el shoe sorter seleccionado para estas operaciones, la productividad esperada es de 300 o 150 bultos por hora por rama de clasificación, dependiendo de si la rama está dedicada a una única sucursal (rama de clasificación simple) o si requiere una sub-clasificación posterior entre múltiples sucursales (rama multi-sucursal). En el punto de entrada, la capacidad puede alcanzar hasta 1.200 bultos por hora por entrada [\[40\]](#). En la Figura 19 se observa un diagrama de las productividades de las ramas del sorter.

¹¹ Zona enfrentada a los andenes, destinada a la recepción de mercadería o a la preparación de pedidos para su expedición.

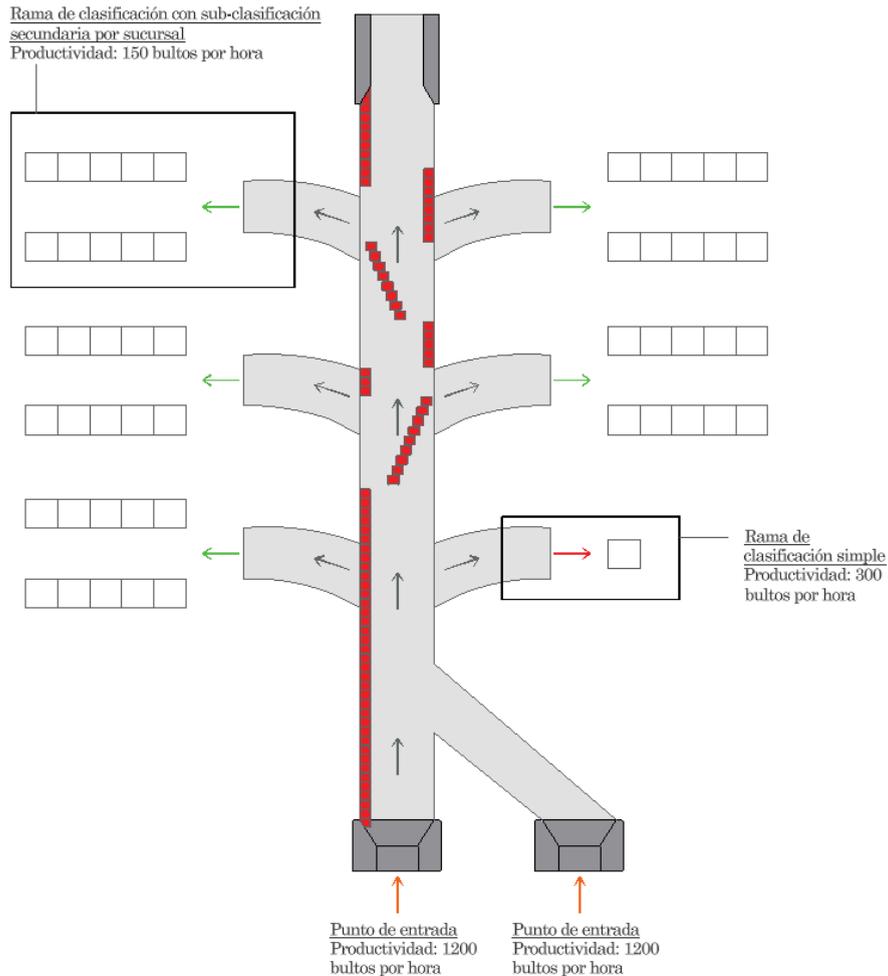


Figura 19: Diagrama de productividad de ramas de entrada y salida de Sorter.

Dado el volumen diario de bultos a procesar y la productividad del sistema, se concluye que la operación del sorter conviene realizarla en dos turnos. Esta decisión también permite reducir el tamaño del pulmón de espera necesario para la carga del sistema, desplazando un posible cuello de botella desde la entrada del sorter hacia la recepción de mercadería de proveedores de cross-docking.

Considerando la proyección de crecimiento, que estima alcanzar 100 sucursales en cinco años, se determinó que el sorter debe contar con 10 ramas. Esto permite subclasificar en promedio entre 10 sucursales por rama, evitando cuellos de botella en las salidas. Un mayor número de sucursales por rama empeora la productividad de salida y afectaría la rentabilidad de la inversión en este sistema [40]. Los cálculos detallados se encuentran en el Anexo electrónico 4 “Mano de Obra - Base Año 5.xlsx”.

Para el manejo de cross-docking unitario, se requiere únicamente una rama, denominada “rama unitaria”, ya que la operación se ejecutará en dos turnos. En este caso, el cuello de botella no se encuentra en la entrada del sistema, sino en las estaciones Put to Light (PTL) o en el Sorter AMR dependiendo de la alternativa de operación, donde se realiza la sub-clasificación en unidades.

En cuanto al ingreso de bultos al sorter, se considera suficiente una única rama, tomando en cuenta el volumen proyectado a cinco años y que la capacidad de entrada por rama es de 1.200 bultos por hora. Sin embargo, contar con una entrada adicional

podría ser útil en períodos de alta demanda, asegurando un proceso de clasificación más ágil. Esta decisión también permite optimizar la inversión, ya que incorporar la capacidad adicional desde el inicio resulta más económico que expandir el sistema posteriormente. Por este motivo, se incluyeron dos entradas en el dimensionamiento final del sorter.

6.2. Sorter Unitario con AMRs

Este sistema se adquiere como un conjunto, por lo que no es necesario un dimensionamiento en la cantidad de robots ni cantidad de salidas. Es necesario dimensionar la cantidad de puestos de entrada al mismo, ya que es el sector en el que interviene personal. Las dimensiones que se presentarán en los layouts están basadas en un sistema con valores similares de productividad y volumen de movimientos a los de este caso de estudio, los cuales fueron proporcionados por el proveedor de referencia. [41]

El cálculo de entradas se llevó a cabo mediante un proceso iterativo. En este análisis, se consideraron las unidades diarias que debían ser procesadas por el sistema, distribuidas en dos turnos, para determinar las unidades manejadas por minuto. Durante este proceso se ajustó progresivamente la cantidad de entradas al sorter, y por consiguiente, la cantidad de operarios involucrados. Se finalizó cuando se alcanzó un valor realista y coherente con la capacidad de manipulación de unidades de un operario. El detalle completo se puede observar en el Anexo electrónico 4 “Mano de Obra - Base Año 5.xlsx”.

6.3. Dimensionamiento de andenes

A continuación, se presenta el cálculo detallado para dimensionar los andenes necesarios en la operación logística, considerando tanto las puertas de recepción de mercadería como las destinadas a la expedición. El procedimiento de cálculo se basa en lo expuesto en la sección 2.5.3 del marco teórico:

$$N = \frac{D*H}{C*S} = \frac{(D/C)*H}{S}$$

Donde:

- **N** = Número de puertas necesarias
- **D** = Flujo promedio diario (pallets/día)
- **C** = Capacidad de cada vehículo (pallets/vehículo)
- **H** = Tiempo requerido de carga o descarga promedio (hora/vehículo)
- **S** = Tiempo diario disponible para carga o descarga de vehículos (horas/día)

El detalle completo se puede consultar en el Anexo electrónico 5 “Andenes y staging.xlsx”

6.3.1. Andenes de Recepción

Para establecer la cantidad de andenes de recepción requeridos, se utilizó como fuente la base de datos de compras correspondientes al período comprendido entre diciembre de 2023 y diciembre de 2024. A partir de esto, se realizó la estimación de pallets que ingresarán al centro de distribución en un año, y proyectando al año 5 mediante la tasa de crecimiento anual correspondiente, se obtuvo la cantidad de pallets semanales que deberán ingresar al centro, tanto para el año base como para el escenario proyectado.

Posteriormente, se estimó la cantidad de camiones necesarios para transportar la mercadería prevista semanalmente, considerando distintas capacidades de carga según

el proveedor y el volumen de mercadería manejado. Se asumió que los camiones llegan cargados al 100% de su capacidad, dado que el armado de la carga es responsabilidad de los proveedores y no de la empresa.

Según los registros del sistema de gestión de depósitos utilizado a noviembre de 2024, el tiempo promedio actual requerido para la descarga y control de mercadería es de 1,5 horas por recepción. A partir de este valor se calcularon las horas operativas totales necesarias para recepcionar todos los ingresos.

Dado que la operación de ingreso se realiza en dos turnos de 8 horas cada uno, se determinó la cantidad de puertas de recepción requeridas. En la Tabla 15 se presentan los resultados obtenidos para el año 0, el año 5 y el año 5 durante el período de zafra.

Tabla 15: Cálculo de andenes de recepción

Parámetro	Año 0	Año 5	Año 5 + aumento por zafra
Puertas	7	8	10

6.3.2. Andenes de Expedición

El cálculo para determinar las puertas de expedición sigue una metodología análoga a la empleada para los ingresos. Se utiliza como punto de partida la base de datos de ventas que se empleó para el análisis de método y granularidad expuesto en la sección 4, a partir de la cual se obtienen los pallets diarios proyectados a despachar tanto para el año 0 como para el año 5 del proyecto.

De acuerdo con la situación actual, la distribución de mercadería se realiza mayoritariamente en camiones con capacidad para 12 pallets, los cuales operan con un 80 % de ocupación promedio.

A partir de estos parámetros, se obtiene la cantidad de camiones necesarios para despachar el volumen diario.

Considerando estos factores, y que el tiempo promedio requerido para la carga y control de los camiones es de una hora (según referencia del sistema de gestión de depósito), se determinan las horas totales necesarias para completar la carga de todos los vehículos, teniendo en cuenta que los despachos también se realizan en dos turnos de 8 horas cada uno.

Un factor adicional que debe ser considerado es que los camiones suelen transportar en su mayoría pallets multiproducto que presentan una eficiencia volumétrica inferior en el armado del pallet. Por este motivo, se incorpora un factor de ineficiencia en el armado del 15% a la cantidad de pallets a considerar, el cual incide directamente en los resultados finales.

Los resultados obtenidos para los andenes de expedición se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16: Cálculo de andenes de expedición.

Parámetro	Año 0	Año 5	Año 5 + aumento zafra
Puertas	4	6	8

6.3.3. Resultados Totales

La Tabla 17 muestra un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 17: Resumen - Cantidad de andenes de recepción y expedición (Año 5 + Zafra).

Resumen	Recepción	Expedición	Total
Puertas	10	8	18

Es importante destacar que, como se verá en secciones posteriores del informe, el flujo elegido para el centro de distribución es en forma de U, donde las puertas se encontrarán todas del mismo lado del depósito. Esto permite intercambiar la función de las puertas de ser necesario.

6.4. Dimensionamiento de stock unitario

Para el dimensionamiento del área de stock en unidades, se tomaron los datos del reporte de Power BI, Anexo Electrónico 1 “Reporte - Método Ideal de Abastecimiento.pbix”. En este archivo se tomaron los artículos clasificados dentro de este método y granularidad, así como la cantidad de cajas a distribuir semanalmente. Posteriormente, se proyectó este volumen al año 5 e incluyó el pico estacional correspondiente a la zafra.

Luego se realizó una diferenciación entre artículos importados y de plaza, debido a sus distintas dinámicas de abastecimiento.

En el caso de los productos de plaza, se almacenan directamente en cajas en las estanterías de stock unitario. Dado que los proveedores locales realizan entregas semanales, se definió que el stock a almacenar debe cubrir una semana de demanda, más una semana adicional como stock de seguridad. Esto permite asegurar la continuidad operativa ante posibles demoras o faltantes. En total, se contempla así un stock equivalente a dos semanas para este tipo de productos.

Por otro lado, los productos importados suelen adquirirse trimestralmente en grandes volúmenes, lo que exige contar con espacio suficiente para almacenar hasta tres meses de stock. Dado que no resulta eficiente mantener este volumen en cajas sueltas, se definió una metodología específica: se almacena en la zona de stock unitario el equivalente a una semana de ventas en cajas, y el resto del stock se conserva en pallets completos. Desde estos pallets se reabastecen semanalmente las ubicaciones de picking. Para estos productos no se considera necesario un stock de seguridad adicional, ya que se encuentra implícito en el volumen almacenado en la zona de stock master.

Con estas consideraciones, se determinó la cantidad de cajas a almacenar en este sector.

6.4.1. Estanterías tradicionales

Como se expuso previamente, las soluciones Manual e Híbrida (-) requieren estanterías para el funcionamiento de la operación. Estas estanterías son de baja altura y un operario puede acceder a todos sus niveles sin requerir asistencia de elevación. En la figura 20 se puede ver un ejemplo de las mismas.

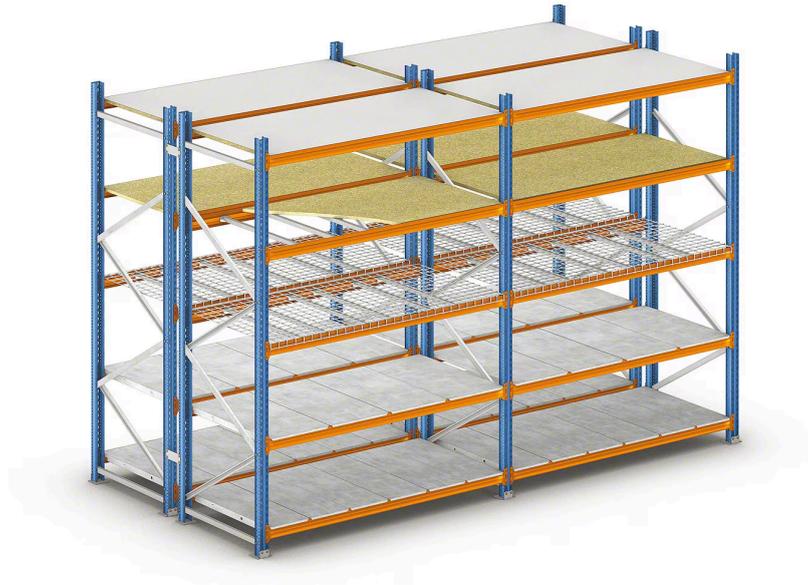


Figura 20: Estanterías tradicionales utilizadas para stock unitario. [42]

La diferencia principal entre ambas soluciones en la gestión del stock unitario radica en el nivel de asistencia robótica. En la opción Manual, todo el proceso se realiza sin asistencia de robots. En la opción Híbrida (-), los operarios trabajan en conjunto con AMRs, optimizando el desplazamiento y la recolección de unidades. Pero la infraestructura de estanterías utilizada para ambas alternativas es la misma.

Para dimensionar el área de stock, se asignó al menos una ubicación por SKU, ya que el sistema de gestión de almacenes (WMS) de la empresa no permite almacenar distintos productos en una misma ubicación de picking. Cada ubicación debe contener un único artículo, aunque un mismo producto puede ocupar varias ubicaciones si su volumen lo requiere. Como resultado se obtuvo un total de 11.543 cajas a almacenar.

A continuación, se seleccionó una estantería de referencia de un proveedor [43] cuyas dimensiones fueron extraídas de su catálogo. Con base en estas especificaciones, se determinó la cantidad de ubicaciones de picking y la capacidad total de almacenamiento por estantería.

Dado que las estanterías deben ser accesibles para la operación, se estableció un diseño con cuatro niveles de altura. Con estos valores, se procedió a calcular la cantidad total de estanterías necesarias para almacenar las 11.543 cajas, lo que resultó en un total de 382 módulos de estantería de cuatro niveles de altura. En la figura 21 se pueden ver esquemas de los módulos.

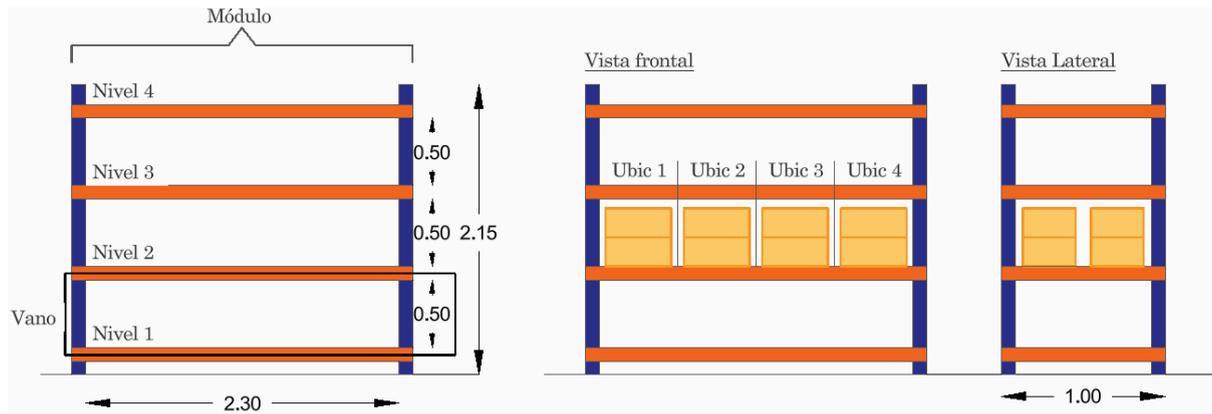


Figura 21: Esquemas de módulo de estantería para stock unitario.

El detalle del cálculo previamente expuesto se puede consultar en el Anexo electrónico 6 “Stock (Master y Unitario).xlsx”

6.4.2. Estanterías compactas - Sistema robot picking "in-aisle"

Para las opciones Híbrida (+) y Automática, se incorpora la solución de AMR robot picking “in-aisle”, que utiliza estanterías de mayor densidad, capaces de almacenar cajones de manera compacta. Los cajones estándar son de 60cm x 40cm de base. En la figura 22 se observa la distribución de estas estanterías.



Figura 22: Estanterías compactas utilizadas para stock unitario. [44]

En base a otros sistemas instalados por el proveedor de referencia [45], las estanterías se dimensionan con 8 niveles.

Este sistema ofrece una ventaja significativa respecto al caso anterior, ya que permite la subdivisión de ubicaciones dentro de cada cajón, lo que optimiza el uso del espacio disponible. Según la fuente consultada, los cajones pueden dividirse hasta en ocho compartimentos, permitiendo almacenar distintos SKU en una misma ubicación de picking [46]. Gracias a esta capacidad, el almacenamiento resulta más compacto y se requiere una menor cantidad de ubicaciones en comparación con las estanterías convencionales.

Considerando estos factores y la configuración de alturas establecida, se determinó la cantidad de ubicaciones necesarias para el dimensionamiento del sistema, resultando en un total de 8.119 cajones requeridos para el almacenamiento.

El detalle del cálculo se puede consultar en el Anexo electrónico 6 “Stock (Master y Unitario).xlsx”.

6.5. Dimensionamiento Stock Master

Para dimensionar el área de stock palletizado, destinada a productos con granularidad en caja master, se utilizaron los datos del Anexo Electrónico 1 “Reporte - Método Ideal de Abastecimiento.pbix”, convirtiendo las cantidades de cajas a su equivalente en pallets. El procedimiento seguido fue análogo al aplicado para el stock unitario, enfocándose en los productos clasificados bajo la metodología de stock master.

Para el almacenamiento se consideraron racks selectivos de seis niveles (una posición a piso y cinco niveles adicionales), replicando la configuración existente en la operación actual. Al igual que en el caso del stock unitario, se contempló la necesidad de almacenar la demanda semanal más una semana adicional como stock de seguridad.

En cuanto a los productos importados, se definió un stock de hasta 3 meses (o 12 semanas), dada la modalidad de abastecimiento en grandes volúmenes. Además, en esta misma área se almacenan pallets correspondientes a SKUs importados con granularidad unitaria, como se desarrolló en la sección 6.4. En estos casos, se mantiene una reserva inicial de 11 semanas, desde la cual se reabastece el sistema de stock unitario a demanda.

Los cálculos detallados se encuentran en el Anexo Electrónico 6 “Stock (Master y Unitario).xlsx”.

La cantidad de pallets proyectada al año 5, incluyendo zafra, se presenta en la Tabla 18. A partir de este valor, y considerando los seis niveles disponibles por rack, se calcula la cantidad de posiciones a piso requeridas.

Tabla 18: Resultados de dimensionamiento Stock Master

Origen	Cantidad de Pallets	Posiciones a piso
Por Stock Master	10.913	1.819
Por Stock Unitario (únicamente importaciones)	1.035	173
Total	11.948	1.992

6.6. Dimensionamiento del área de cross-docking

Para el dimensionamiento de cross-docking, se partió de la base de datos de Power BI (Anexo Electrónico 1 “Reporte - Método Ideal de Abastecimiento.pbix”), tomando como dato inicial la demanda diaria en pallets de cross-docking por sucursal.

Para el correcto funcionamiento de la operación se debe contar con dos áreas específicas de soporte para la operación: un área previa que actúa como pulmón de entrada, o zona de espera de pallets; y otra área donde se ubica la mercadería ya clasificada. En la figura 23 se ve un esquema de layout de la distribución de estas zonas para las alternativas que cuentan con sorter.

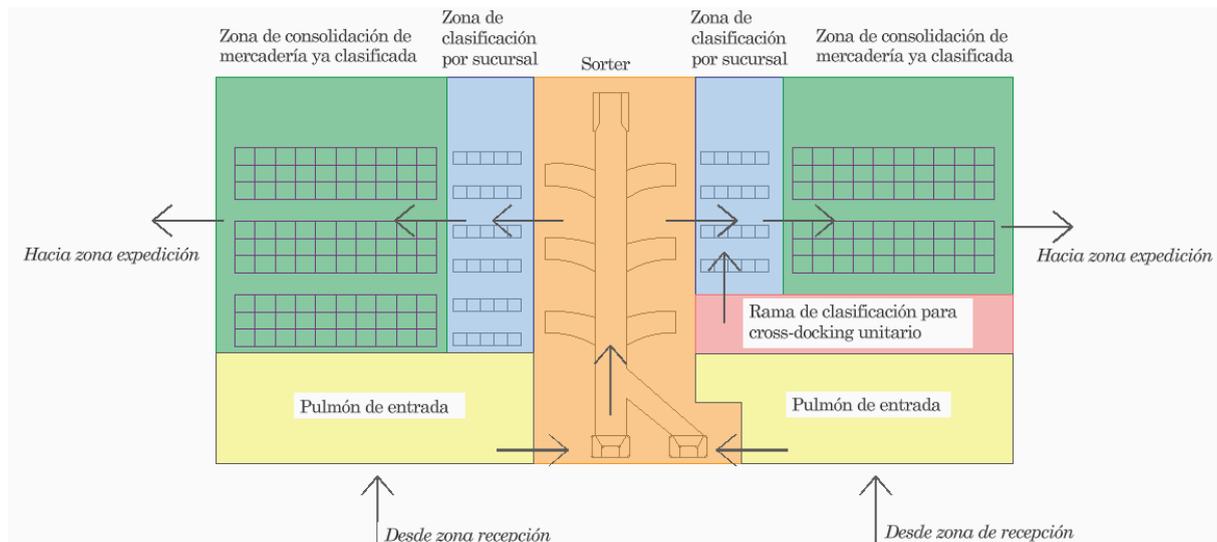


Figura 23: Diagrama de áreas para cross-docking.

Cabe destacar que la mercadería ya clasificada por sucursal será dispuesta en roll containers en lugar de pallets Mercosur. Esta elección facilita tanto la manipulación como el transporte hacia la zona de expedición. La producción diaria en cross-docking estimada es de 300 pallets, los cuales serán procesados en dos turnos.

Para el dimensionamiento del pulmón de entrada, se acordó junto con la contraparte que lo ideal era destinar espacio a piso para medio turno de producción de cross-docking, es decir, aproximadamente 75 pallets. A medida que los pallets ingresan al depósito, se van clasificando, evitando así la necesidad de almacenar un turno completo de recepción en el pulmón de entrada.

En la alternativa manual, esta zona se subdivide en dos áreas: el pulmón de espera para productos de granularidad Master y el pulmón de espera para productos de granularidad Unitaria (incluyendo Inner). La división se realizó en función del volumen diario de cajas a expedir, resultando en una asignación del 66 % del área calculada para Master y del 34 % para Unitaria, de acuerdo con la proporción establecida entre estas operaciones en la Tabla 4.

Se acordó destinar en la zona de staging de pedidos pronto de cross-docking un espacio equivalente a un turno completo de producción de cross-docking, lo que corresponde a 150 pallets o 300 roll containers. A medida que se vacía la zona de staging de expedición por el despacho de camiones hacia las sucursales, se van transportando los roll containers ya sorteados y pronto para expedir a esta zona. El staging de pedidos pronto de cross-docking entonces nunca debería superar la capacidad de un turno de producción.

7. Layouts

En esta sección se desarrollará el diseño de los layouts correspondientes a las cuatro alternativas propuestas, en base a los cálculos realizados anteriormente y lo expuesto en la Sección 2.5 del marco teórico.

El tamaño del depósito no es un parámetro predefinido, sino que se determina en función de la alternativa seleccionada. Sin embargo, en todos los casos, se ha priorizado la optimización del uso del espacio para garantizar la mayor eficiencia posible.

Los layouts se encuentran disponibles en los Anexos Electrónicos 7, 8, 9 y 10. Los códigos de referencia utilizados en los planos están detallados en los Anexos 1, 2, 3 y 4. Estos códigos siguen una estructura de formato "X-XXX", donde el primer carácter identifica la alternativa a la que se refiere de la siguiente manera:

- 1: Manual
- 2: Híbrida (-)
- 3: Híbrida (+)
- 4: Automática

Los caracteres posteriores al guión describen la zona de operación a la que se hace referencia (mediante una o dos letras) y una posición específica dentro de esa zona (mediante un número). Esta codificación se puede observar en la Tabla 19.

Tabla 19: Referencias de códigos en layouts

Letra en el código	Área
R	Recepción
E	Expedición
A	Anexo
C	Cross-docking
SM	Stock Master
SU	Stock Unitario

Por ejemplo, la referencia "2-C2" hace referencia a una zona específica de entrada al sorter en el área de cross-docking en la solución Híbrida (-).

7.1. Consideraciones Generales

7.1.1. Elección del flujo operativo

Uno de los primeros aspectos a definir fue la disposición de las puertas de ingreso y egreso que condiciona el tipo de flujo de mercadería dentro del depósito. Se evaluaron dos alternativas:

- **Flujo en U:** Todas las puertas están ubicadas en un mismo lado, permitiendo que las operaciones de recepción y expedición ocurran en un mismo extremo del depósito.
- **Flujo en I:** Las puertas de ingreso ubicadas en un lado del depósito y las de egreso en el lado opuesto, generando un flujo lineal a través de la instalación.

Siguiendo lo establecido en la sección 2.5.4.3 del marco teórico y considerando la opinión de la contraparte, se optó por un flujo en U. Esta elección se fundamentó en dos aspectos clave. En primer lugar, la mayor flexibilidad en el uso de puertas ya que al estar dispuestas en un mismo frente, se puede intercambiar la función de los andenes de recepción a expedición o viceversa, lo que permite una mayor flexibilidad en la asignación de puertas según las necesidades de la operación. En segundo lugar, la optimización del espacio; a diferencia del flujo en I, que requiere amplios pasillos (autopistas) en ambos extremos del depósito para el tránsito constante de mercadería, el flujo en U permite concentrar las zonas de staging en un solo lado, lo que mejora el aprovechamiento del espacio disponible.

7.1.2. Distribución de zona de recepción y expedición

De acuerdo a lo expuesto en la sección 6.3.3, se definen 10 puertas de recepción y 8 puertas de expedición, ubicadas a lo largo de un lateral del depósito. El tamaño de las puertas varía entre 2,3 y 3 metros [47], para este caso se consideraron de 2,5 m.

La distancia entre los puntos medios de las puertas se recomienda que sea como mínimo de 3.5 m según la fuente consultada [48]. Con el objetivo de garantizar un espacio prudente de maniobra para los camiones y suficiente para el staging frente a cada puerta, se decidió dejar 6 m. A su vez, se considera un pasillo de 4 m entre las puertas y la zona de staging para permitir un cómodo tránsito. El detalle de la zona de staging puede verse en la figura 24.

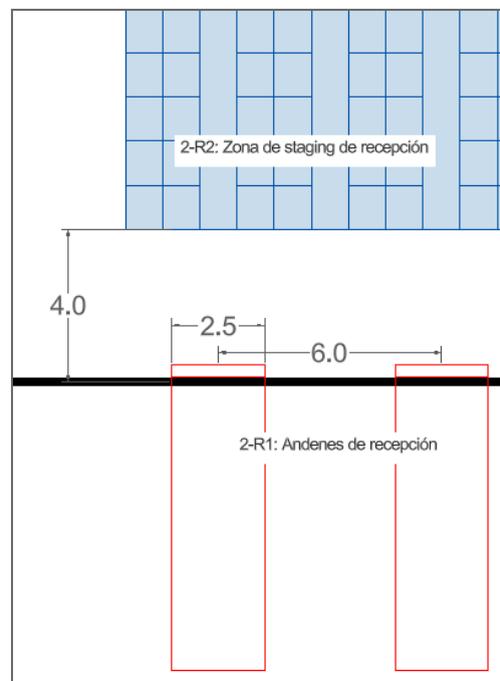


Figura 24: Disposición de andenes en el layout.

En la figura 25, se presenta un esquema de la distribución de la zona de recepción y expedición y las zonas anexas.

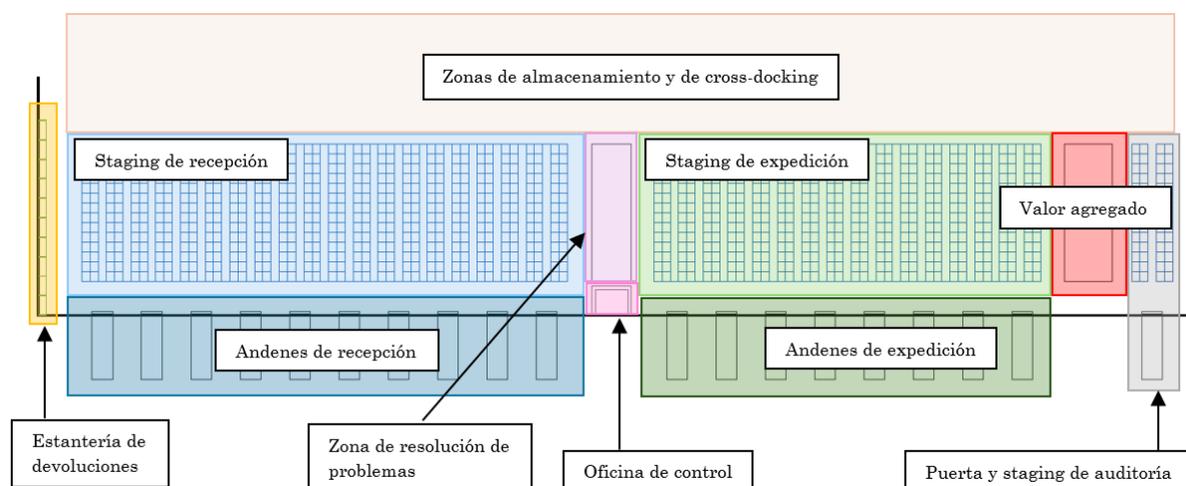


Figura 25: Esquema de distribución en las zonas de andenes.

En la zona central, entre los sectores de recepción y expedición, se destinó un espacio para oficinas de control (ref. 1-A1, 2-A1, 3-A1, 4-A1). Su ubicación permite supervisar y gestionar tanto las operaciones de recepción como de expedición desde un punto estratégico. Frente a esta oficina se dispuso la zona de resolución de problemas (ref. 1-A2, 2-A2, 3-A2, 4-A2), destinada a gestionar ingresos con inconvenientes que requieren atención especial y así evitar trancar un andén. Esta zona se separó de las áreas de staging para evitar confusiones y minimizar el riesgo de mezclar la mercadería.

También se incorporó una zona de auditoría compuesto de una puerta (ref. 1-A4, 2-A4, 3-A4, 4-A4) y área de staging (ref. 1-A5, 2-A5, 3-A5, 4-A5), donde se realizan controles de calidad sobre una muestra diaria aleatoria de camiones. Por requerimiento de la contraparte, se asignaron cuatro hileras de 14 pallets para esta tarea.

Entre el sector de auditoría y los andenes de egreso, se definió una zona de valor agregado (ref. 1-A3, 2-A3, 3-A3, 4-A3), donde se llevan a cabo tareas de etiquetado y empaquetamiento. Generalmente, los productos importados se reciben en contenedores de 40 pies, y deben ser etiquetados antes de ser almacenados. Para las dimensiones de este espacio, se previó estibar un contenedor de este tamaño y espacio para el etiquetado. Se diseñó esta zona con una distribución alargada, lo que facilita la organización del trabajo en línea y agiliza el proceso.

Junto al área de recepción, se dispuso una estantería destinada a devoluciones (ref. 1-A6, 2-A6, 3-A6, 4-A6). La ubicación estratégica de esta zona se debe a la cercanía a los muelles de recepción, ya que los proveedores cuando entregan mercadería a la vez retiran sus devoluciones.

7.1.3. Área de staging

Para esta sección, se llevó a cabo una reunión con el Jefe de Operaciones de uno de los depósitos de la empresa, para buscar recomendaciones y validar las ideas que se tenían para el diseño de esta área, que es crítica para el buen funcionamiento del centro.

El dimensionamiento del área de staging se realizó tomando como base una carga promedio de 14 pallets por camión de ingreso, criterio que se aplicó tanto para la zona de recepción (staging in) como para la zona de expedición (staging out). Se consideraron 4 hileras con capacidad para 14 pallets por cada puerta. Aunque, a priori, las hileras están asignadas a la puerta con la que están enfrentadas, esta asignación es flexible, ya que las hileras pueden ser destinadas a cualquiera de las puertas adyacentes, lo que proporciona una mayor adaptabilidad.

La disposición del espacio sigue un esquema en el que se alternan dos hileras de pallets seguidas de un pasillo vacío de 1 metro de ancho, destinado principalmente al tránsito peatonal y al control operativo. Esta franja no requiere el paso de maquinaria, su propósito es facilitar la supervisión y el desplazamiento seguro del personal.

La manipulación de pallets en transpaletas se realiza en el pasillo ubicado contra las puertas, tomando los pallets desde el extremo delantero de la fila.

7.1.4. Distribución de las operaciones

Para definir el espacio físico en donde se llevaría a cabo cada operación, se tomaron en cuenta dos factores fundamentales. En primer lugar, se buscó que aquellas operaciones con mayor volumen de movimientos se ubicaran en las zonas más activas dentro del flujo en U, es decir, en los sectores más accesibles y estratégicos del depósito. De esta manera, se optimiza la eficiencia operativa al reducir los desplazamientos en las actividades que presentan mayor frecuencia. En segundo lugar, se priorizó la minimización de cruces de los flujos de movimiento entre áreas (sección del marco teórico 2.5.4.2), lo que permite evitar interferencias entre operaciones y reducir posibles congestiones. Para ello, se trazaron las líneas de flujo en un plano base y se ajustaron las ubicaciones hasta lograr una distribución óptima.

Bajo estos criterios, la zona de cross-docking se ubicó cerca de las puertas de recepción, debido al alto flujo de mercadería proveniente de los proveedores. El almacenamiento de stock master se destinó a las áreas centrales y más accesibles del depósito, considerando que esta metodología representa más del 60 % de los movimientos diarios dentro de la operación. Dentro de esta zona, los productos con clasificación “A” se asignaron a las áreas más cercanas a las puertas, los productos “B” al centro y los productos “C” a las zonas más alejadas, debido a su menor rotación. Finalmente, el stock unitario se ubicó en la parte posterior del depósito, hacia el sector derecho, dado que su volumen de movimiento es considerablemente menor en comparación con las otras operaciones. En la figura 26 se presenta un esquema de lo antedicho.

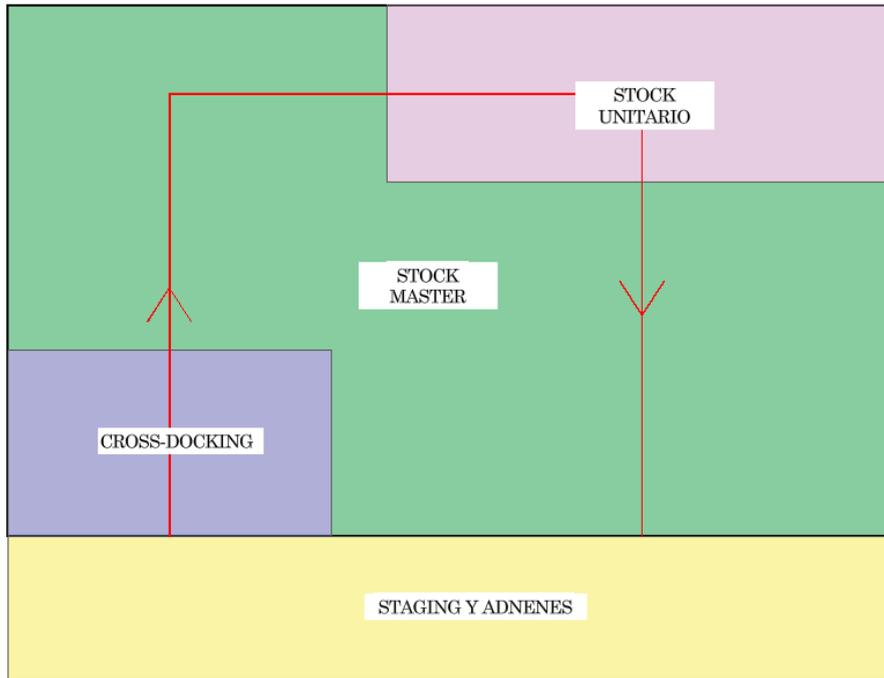


Figura 26: Esquema de layout por zona.

7.1.4.1. Crecimiento

Al diseñar un layout, es fundamental prever cómo evolucionarían las instalaciones en caso de que aumente el volumen a trabajar en el depósito. Esta proyección no solo influye en la disposición inicial de cada operación, sino que también permite anticipar futuras ampliaciones.

Este aspecto cobra especial relevancia considerando que el diseño del layout se realizó proyectando la operación para el año 5. No obstante, el depósito seguirá en funcionamiento durante muchos años más, por lo que es imprescindible prever posibles cambios y garantizar que la infraestructura tenga la capacidad de adaptarse al crecimiento.

En este sentido, para justificar las ubicaciones definidas en el diseño, se incluyeron flechas en el layout que indican la dirección en la que cada sistema podría expandirse de ser necesario. En la figura 27 se representan de forma esquemática los sentidos en los que se darían las expansiones de cada zona operativa.

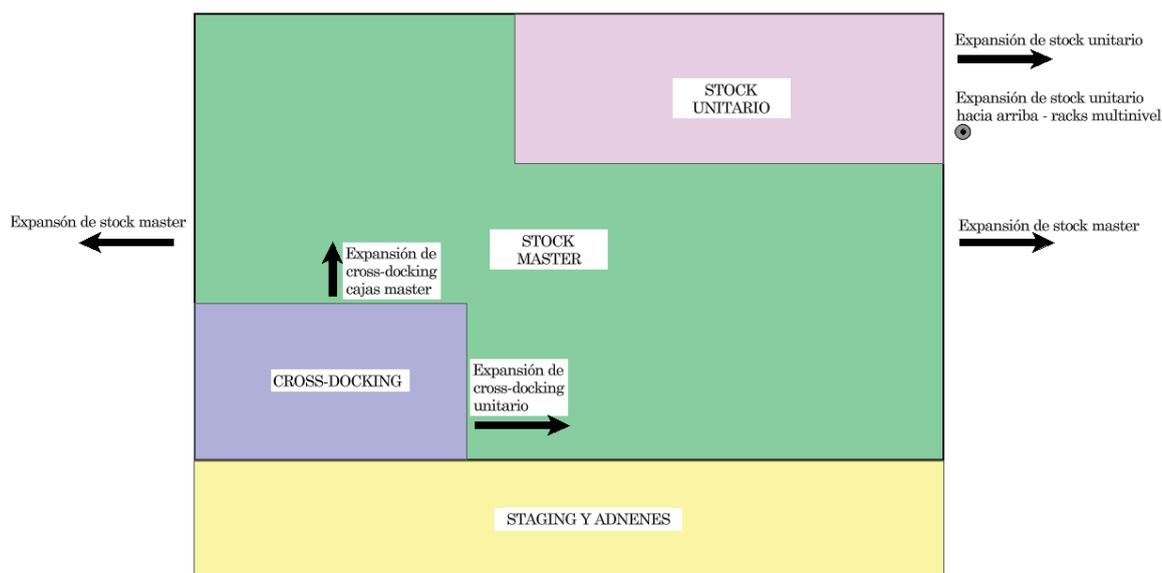


Figura 27: Esquema de sentidos de expansión de cada zona.

Una de las estrategias implementadas para facilitar la expansión consistió en evitar encasillar una operación clave con otras, asegurando que todas ellas tengan contacto con el perímetro del depósito. De esta manera, en caso de requerir mayor capacidad, siempre será posible ampliar hacia el exterior sin interferir con las operaciones existentes.

En lo que respecta al stock unitario (ref. *1-SU2*, *2-SU2*, *3-SU3*, *4-SU3*), su crecimiento podría gestionarse de dos maneras. En primer lugar, mediante la ampliación del depósito hacia el exterior. En segundo lugar, mediante el aprovechamiento de la altura, incorporando un entrespacio con estanterías adicionales. Esta última opción permitiría optimizar el uso del espacio sin necesidad de modificar el área total del depósito.

Por otro lado, la expansión del área de cross-docking dependerá de la configuración del sistema. En el caso de la alternativa manual (ver todas las referencias que comienzan por *1-C*), el crecimiento podría darse hacia el exterior o colonizando el área de almacenamiento de stock master. En cambio, en las opciones que incluyen sorter (ver todas las referencias que comienzan por *2-C*, *3-C* y *4-C*), la expansión no podría realizarse hacia el exterior, por lo que se orientaría hacia la zona de stock master, ya que este es el sentido más eficiente para agregar brazos adicionales al sorter.

En cuanto al stock master, su crecimiento podría gestionarse mediante una ampliación del depósito hacia el exterior. Sin embargo, otra alternativa viable es la incorporación de tecnologías que permitan compactar el almacenamiento sin necesidad de aumentar la superficie del depósito. Existen diversas soluciones en el mercado para optimizar la densidad de almacenamiento, como racks móviles o sistemas de almacenamiento automático, aunque estas opciones quedan fuera del alcance del presente proyecto. No obstante, es importante considerar que dicha optimización podría implementarse en el futuro como una alternativa viable para aumentar la capacidad sin necesidad de una expansión estructural del depósito.

7.1.5. Pasillos y calles

Los anchos de los pasillos dentro de un depósito dependen del tipo de transporte que circulará por ellos, así como de su uso peatonal o vehicular. En el diseño del layout del

proyecto, se consideraron distintos tipos de pasillos en función de sus requerimientos operativos.

Los pasillos destinados a las estanterías selectivas convencionales, es decir, aquellos por los que transitan los autoelevadores, representan la mayor proporción dentro del diseño. Para determinar su ancho, se tomó como referencia una ficha técnica de un autoelevador estándar [49], seleccionando el mayor valor de ancho de pasillo especificado. A este valor se le adicionó un 10 % con el objetivo de considerar el espacio adicional requerido por las protecciones ubicadas en los vértices de los racks, las cuales, si bien no están representadas en el diseño, invaden parcialmente el área de circulación. Como resultado, el ancho final de estos pasillos se estableció en 3,1 m.

Por otra parte, a aquellos pasillos con flujo peatonal, se les debió agregar 1 metro de ancho para asegurar la circulación segura [50].

Asimismo, se contempló un metro adicional para aquellos sectores con alto tránsito de vehículos (transpaletas y elevadores), como la autopista que recorre de punta a punta el depósito en paralelo a la zona de staging.

7.2. Consideraciones particulares de cada alternativa

7.2.1. Alternativa Manual

Las diferencias de este layout respecto a los otros radican principalmente en la zona de cross-docking y la de picking unitario.

Las posiciones de clasificación por sucursal (ref. *1-C3*) son cien espacios destinados a la ubicación de roll containers donde se preparan los pedidos, destinando una ubicación por cada sucursal. Se destinaron 100 espacios considerando la proyección de crecimiento de la sección 4.4. El recorrido central de cross-docking se diseñó como un circuito continuo para asegurar transitar por todas las sucursales. Las calles del circuito están señalizadas con sentido único, permitiendo que el operario avance en la dirección establecida y se recorran todas las sucursales.

Por otro lado, las estaciones de cross-docking unitario (ref. *1-C4*) se han ubicado junto a las posiciones de clasificación por sucursal, específicamente al inicio del circuito. Esto permite que, una vez que un cajón está completo, pueda ser trasladado inmediatamente a la posición asignada para su sucursal destino.

Finalmente hay un sector donde se consolidan los roll container con pedidos prontos (ref. *1-C5*), de modo que esperan en ese lugar hasta que haya una salida de un camión hacia la sucursal correspondiente.

Adicionalmente, se ha destinado un espacio específico para el cross-docking de electrodomésticos y productos de gran tamaño (ref. *1-C6*). Debido a sus dimensiones, estos artículos no pueden ser transportados en roll containers. Por esta razón, cuentan con un área específica en la que clasifican por sucursal y permanecen ahí hasta su despacho.

La figura 28 presenta el layout de este sector con sus respectivas referencias.

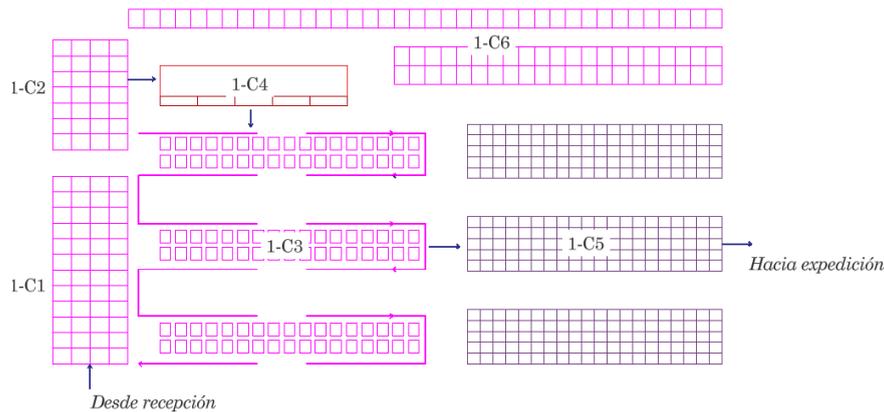


Figura 28: Esquema de layout de zona cross-docking para alternativa Manual.

Para la zona de almacenamiento de picking unitario (ref. 1-SU2), se diseñó un layout con estanterías de baja altura y pocos niveles. Con el objetivo de optimizar el tránsito peatonal, los pasillos fueron diseñados con una longitud reducida, favoreciendo una mayor zonificación y minimizando las distancias de desplazamiento durante la preparación de pedidos.

7.2.2. Alternativa Híbrida (-)

En esta alternativa, la única diferencia a nivel de layout respecto a la alternativa manual se encuentra en la zona de cross-docking, ya que la disposición de la zona unitaria se mantiene, aunque en este caso la operación es llevada a cabo por una combinación de operarios y robots autónomos.

La zona de cross-docking en esta configuración cuenta con un sorter (ref. 2-C3), cuya cuantificación de entradas y salidas fue desarrollada en la sección 6.1. La disposición del sorter fue definida de manera que su entrada (ref. 2-C2) estuviera lo más próxima posible a la zona de recepción (ref. 2-R1), con el objetivo de minimizar los recorridos. Su ubicación dentro del layout fue determinada considerando el crecimiento futuro, permitiendo que la expansión se realice hacia el fondo del depósito en lugar de invadir las zonas de mucho tránsito, como las posiciones de stock master cercanas a las puertas y el pasaje hacia las mismas.

En cuanto a la distribución de las posiciones por sucursal (ref. 2-C6). La disposición de las 10 ramas incluyó pasillos amplios en el centro, posibilitando que un solo funcionario pueda gestionar dos ramas en simultáneo.

Por otro lado, la rama destinada al cross-docking unitario (ref. 2-C4) se ubicó estratégicamente cerca de la entrada al sorter (ref. 2-C2). Esto se debe a que una gran cantidad de mercadería procesada por el sorter se va a dirigir hacia esta rama y su proximidad agiliza el flujo de trabajo y reduce el tiempo de procesamiento.

Finalmente, un aspecto clave en este layout es la incorporación de puntos de espera para los AMR encargados de transportar mercadería entre las áreas (ref. 2-C9) a dónde se dirigen cuando se le indica, y ellos enganchan el roll container y lo transportan hacia la zona de staging de expedición.

La figura 29 presenta el layout de este sector con sus respectivas referencias.

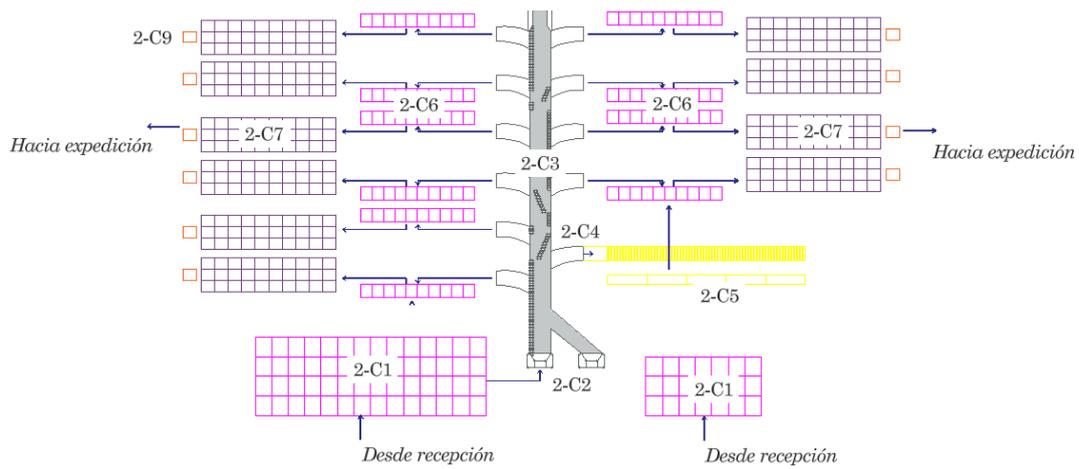


Figura 29: Esquema de layout de zona cross-docking para alternativa Híbrida (-).

7.2.3. Alternativa Híbrida (+)

Esta alternativa introduce modificaciones tanto en la zona de cross-docking como en las áreas de picking unitario y picking de cajas.

En cuanto a la zona de cross-docking, la configuración del sorter se mantiene sustancialmente igual a la alternativa anterior, incorporando en la entrada del sistema (ref. 3-C2) un robot despaletizador con capacidad para operar con dos pallets en simultáneo.

Adicionalmente, la rama destinada al cross-docking unitario desemboca en un subsistema diferente al de la alternativa Híbrida (-) pero la ubicación de esta rama se mantiene igual a la de la alternativa anterior, dado que responde a los mismos criterios ya mencionados.

Asimismo, la disposición del sorter de AMRs (ref. 3-C5) se estableció de acuerdo con la proyección de crecimiento del sistema. En caso de requerir expansión, esta debe realizarse como indica la flecha de crecimiento en el layout, hacia la dirección del stock master. Además, la entrada a este subsistema fue posicionada cerca del sorter principal (ref. 3-C3), garantizando un flujo continuo de mercadería. La figura 30 presenta el layout de este sector con sus respectivas referencias.

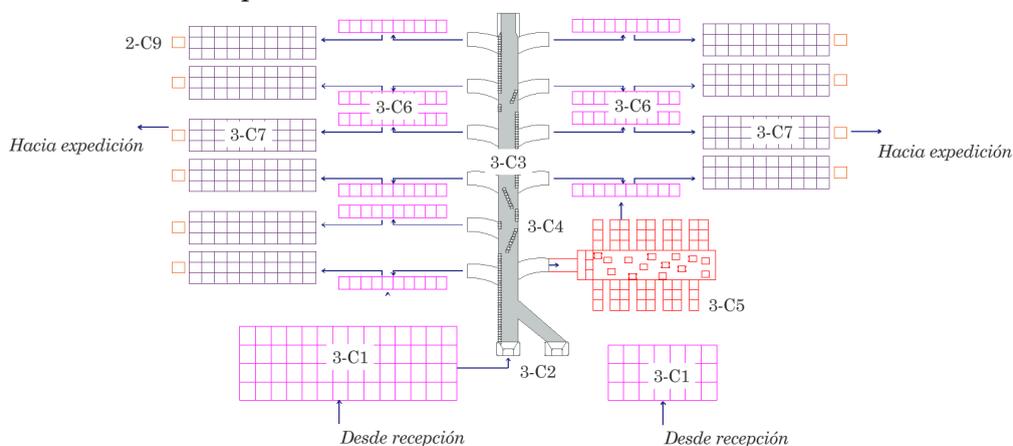


Figura 30: Esquema de layout de zona cross-docking para alternativa Híbrida (+).

En la zona de stock unitario (ref. 3-SU3), la disposición y altura de las estanterías se definieron a partir de un plano proporcionado por el proveedor de referencia, en el cual se especifica una configuración de ocho niveles de altura y pasillos con una longitud de doce ubicaciones. El tamaño de cada ubicación se asumió igual al del cajón estándar, cuya dimensión también fue obtenida de la información proporcionada por el proveedor [51].

Se designó una zona específica para la recepción de pallets de ingreso (ref. 3-SU1). Desde allí se realiza el traspaso de las unidades de las cajas master hacia los cajones estándar. Estos cajones luego son colocados en los estantes de ingreso (ref. 3-SU2) de cajones. Asimismo, se estableció un sector de estanterías destinadas a pedidos listos (ref. 3-SU6), donde los robots depositan los pedidos ya armados. Entre estos dos sectores se ubicó la estación *Good to Person* (ref. 3-SU4), un punto de asistencia al que los robots acuden cuando encuentran un producto que no pueden manipular de manera autónoma.

La figura 31 presenta el layout de este sector con sus respectivas referencias.

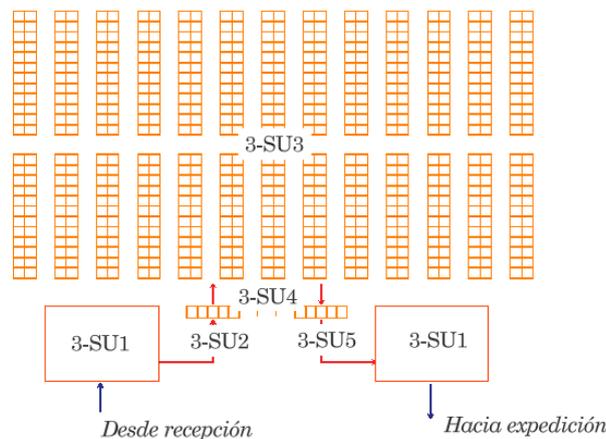


Figura 31: Esquema de layout de zona stock unitario para alternativa Híbrida (+).

7.2.4. Alternativa Automática

La única diferencia entre este layout y el de la alternativa Híbrida (+) es que, en lugar de contar con personas trabajando en las salidas del sorter (ref. 3-C6), se han incorporado robots para realizar dichas tareas (ref. 4-C6). Dado que esta modificación no afecta la estructura general del diseño, no se requieren explicaciones adicionales sobre su disposición o funcionamiento.

8. Operaciones

En esta sección del informe se detalla el funcionamiento de las operaciones de las cuatro alternativas planteadas, describiendo el flujo de los materiales y las interacciones entre los sistemas y automatismos expuestos en la sección 5, haciendo referencia a los layouts para mejorar el entendimiento. En primer lugar, se presentarán las operaciones comunes a todas las alternativas. Posteriormente, se profundizará en aquellas operaciones que varían según la alternativa analizada.

Para la mejor comprensión de esta sección se recomienda la lectura del informe en simultáneo con la visualización de los layouts y los flujos de movimiento internos, disponibles en los Anexos electrónicos 7, 8, 9, y 10.

8.1. Operaciones comunes a todas las alternativas

8.1.1. Proceso de recepción

La tarea de recepción abarca la descarga y el control de la mercadería entregada por el proveedor (ref. *1-R2*, *2-R2*, *3-R2*, *4-R2*).

Para optimizar la manipulación de productos en el centro, los proveedores entregan la mercadería separada en pallets según tres categorías: productos para stock unitario, productos para stock máster y productos para cross-docking. Esta separación es posible porque la empresa emite órdenes de compra diferenciadas para cada grupo.

En el caso de la alternativa manual, donde no se dispone de un proceso automatizado para la clasificación en cross-docking, se requiere una subdivisión adicional entre los productos a manipular con granularidad unitaria y en caja master.

En algunos casos, principalmente para productos importados, la mercadería debe pasar por la sección de valor agregado (ref. *1-A3*, *2-A3*, *3-A3*, *4-A3*) antes de ser almacenada, para tareas de etiquetado y re-empaqueado.

8.1.2. Almacenamiento y preparación de pedidos de stock en caja master

El stock en cajas master se trabaja de la forma tradicional. Para el almacenamiento en altura, se utilizan racks selectivos, facilitando la reposición y el picking de productos en las posiciones de piso (ref. *1-SM1*). Este tipo de estantería se puede visualizar en la figura 32.



Figura 32: Racks selectivos para almacenamiento de Stock Master. [52]

El picking se lleva a cabo mediante PDA. Los pedidos son asignados a los funcionarios de picking, los cuales recorren los pasillos identificando los SKUs y tomando las cantidades requeridas. Una vez completado el pedido, el operario lo traslada a la zona de expedición.

8.1.3. Proceso de expedición

En el área de expedición (ref. *1-E2, 2-E2, 3-E2, 4-E2*) se reorganizan los productos en los pallets o roll containers provenientes de los procesos de clasificación y picking previos, con el fin de consolidar la mercadería y minimizar el volumen ocupado en los camiones.

8.2. Operaciones de Alternativa Manual

8.2.1. Cross-docking de cajas master

Para las operaciones de cross-docking (ref. *1-C3*), se implementa un circuito destinado a la distribución de los pallets en las distintas sucursales. El proceso se estructura de la siguiente manera:

- Cada sucursal tiene asignada una posición de piso fija, donde se posicionan roll containers (ref. *1-C3*).
- Un operario selecciona el pallet clasificado como cross-docking desde la zona de espera (ref. *1-C1*) y realiza la distribución de las cajas del mismo recorriendo el circuito de sucursales.
- La distribución se realiza caja por caja en las posiciones correspondientes a cada sucursal. El funcionario, escanea el código de barras del producto desde la caja y la PDA le indica la cantidad necesaria para cada sucursal en el orden del recorrido. Una vez que coloca las cajas en los roll containers, confirma el depósito de las unidades.
- El proceso continúa hasta no contar con más cajas para distribuir en el pallet. El operario vuelve al inicio del circuito para tomar otro pallet completo y realizar de nuevo la clasificación de cajas.

Cuando un roll container de una sucursal alcanza su capacidad máxima, otro funcionario se encarga de retirar el mismo, llevarlo a la zona de consolidación correspondiente (ref. 1-C5), y reponer la posición con un contenedor vacío.

8.2.2. Cross-docking - Unitario e Inner

En el caso de que el artículo se maneje por cross-docking en unidades, el pallet va a ser depositado en la zona de espera de cross-docking para manejo en granularidad unitario (ref. 1-C2).

Para esta modalidad de cross-docking, se realiza la distribución de las unidades de una forma similar a la expuesta en la sección anterior. Aunque en este caso hay estanterías con cajones (ref. 1-C4) en vez de roll containers para cada sucursal. En la figura 33 se presenta un ejemplo.



Figura 33: Cajones para cross-docking. [53]

El operario toma el pallet con unidades a distribuir y recorre las estanterías, depositando las unidades requeridas hasta vaciar el pallet. Para esta tarea también se asiste de un PDA. Una vez que un cajón se encuentra completo, se traslada hacia las posiciones para clasificación por sucursal de roll containers (ref. 1-C3), donde se deposita el cajón en la sucursal correspondiente.

8.2.3. Stock de unidades

El manejo del stock unitario replica la operación de stock master, pero a menor escala. La principal diferencia es que se utilizan pequeñas estanterías de cuatro niveles, en vez de racks tradicionales. En la figura 34 se puede ver un ejemplo representativo de este tipo de estantería.



Figura 34: Estanterías para almacenamiento de stock unitario. [54]

Los funcionarios recorren los pasillos (ref. 1-SU2) y arman los pedidos dentro de cajones en roll containers, como es mostrado en la Figura 35.



Figura 35: Roll container con contenedores para picking unitario. [55]

Los pedidos completos son trasladados a la zona de consolidación de pedidos prontos (ref. 1-SU3) donde se unifican con otras preparaciones destinadas a la misma sucursal y permanecen en espera hasta su despacho.

8.2.4. Flujos y Transportes de Materiales

Para esta alternativa, los movimientos internos de pallets entre todas las áreas de operación se realizan mediante transpaletas manuales y eléctricas. Por su parte, los roll containers son trasladados manualmente a pie por los operarios.

8.3. Operaciones de Alternativa Híbrida (-)

8.3.1. Cross-docking

8.3.1.1. Proceso de Entrada

Tras el ingreso al predio, se recibe la mercadería (ref. 2-R2), y aquellos pallets catalogados como “cross-docking”, son derivados hacia el pulmón de entrada (ref. 2-C1), previa al ingreso al sorter. Para la entrada al mismo un operario se encarga de desarmar

los pallets y alimenta el sistema caja por caja (ref. 2-C2). Hasta este punto del proceso no se realiza una distinción entre los bultos a ser manejados como “cross-docking master” y “cross-docking inner” o “unitario”.

En el caso de estudio cada rama tiene asignada un grupo 10 de sucursales (ref. 2-C3). Para esto es importante balancear la asignación de sucursales por rama según el volumen de salida, asegurando un flujo lo más parejo posible por cada una de las ramas. Esto implica que las sucursales con mayor volumen de bultos se agrupan con sucursales pequeñas de menor volumen de movimiento.

Como se mencionó anteriormente, el sorter se encarga de realizar la clasificación a la rama unitaria/inner de aquellos artículos para este tipo de granularidad. Esta rama especial será llamada de ahora en más, “Rama Unitaria” (ref. 2-C4).

En el caso de las ramas que agrupan sucursales, al final de cada una, espera un operario para realizar la sub-clasificación entre las sucursales del grupo, mediante asistencia de un PDA (ref. 2-C6), depositando las cajas expedidas por la rama en roll containers según las sucursales de destino final.

8.3.1.2. Rama Unitaria

Los SKUs clasificados como Cross-docking Unitario (o Inner) son desviados hacia la rama unitaria (ref. 2-C4), donde ingresan a un sistema posterior de clasificación que opera con menor granularidad. Esta rama se caracteriza por su mayor longitud, lo que permite la acumulación de cajas en los rodillos mientras los operarios realizan el proceso de retiro y clasificación (ref. 2-C5).

El sistema de clasificación posterior (ref. 2-C5) está compuesto por cajones específicamente asignados a cada sucursal, cada uno equipado con tecnología put to light para optimizar el proceso de clasificación realizado.

Cada operario tiene asignado un sector (bloque) definido de cajones, y por ende, de sucursales. Esta asignación se realiza de manera equitativa considerando el flujo de demanda requerido por cada sucursal, lo que garantiza una distribución balanceada de la carga de trabajo entre los operarios, previniendo así la formación de cuellos de botella en el proceso. En la figura 36 se puede ver un ejemplo de cómo se plantea la operativa.



Figura 36: Esquema de trabajo put to light en bloques. [56]

El proceso se desarrolla de manera secuencial: las cajas ingresan al sistema a través de los rodillos, donde los operarios trabajan en serie con el sistema put to light ubicado frente a ellos. El primer operario abre y escanea la caja, tras lo cual el sistema activa las luces y cantidades correspondientes a las sucursales que requieren ese SKU específico, dentro de su bloque de cajones. El operario procede entonces a depositar las unidades según las cantidades indicadas.

En caso de que la caja aún contenga unidades, ésta continúa su recorrido por la cinta hacia el siguiente operario y se repite hasta agotar las unidades de la caja.

Cuando los cajones de las sucursales se llenan, un operario los traslada a las posiciones de clasificación por sucursal correspondientes al área de cross-docking master (ref. 2-C5) y repone la posición con un cajón vacío.

8.3.2. Stock Unitario

Una vez recepcionada la mercadería identificada como “stock unitario” se envía hacia la zona específica de recepción (ref. 2-SU1) designada para los pallets que serán posteriormente almacenados en el área de stock unitario. Es aquí, donde un operario realiza el proceso de desconsolidación del pallet y alimenta a los cobots AMR que recorren las estanterías de picking, y colaboran con la reposición y distribución de los productos en las estanterías. La figura 37 muestra el tipo de AMR empleado en esta operación.



Figura 37: AMR para armados de pedidos. [57]

Para el proceso de picking, los AMR recorren las estanterías deteniéndose enfrente de los productos requeridos por los pedidos y aguardando hasta que un operario confirme la transacción de las unidades correspondientes.

Cuando un pedido se completa, el AMR transporta el cajón lleno hacia la zona de pedidos prontos (ref. 2-SU3), donde un operario se encarga de retirar el cajón completo y reemplazarlo por uno vacío para que el AMR pueda repetir el proceso. Los cajones llenos se acumulan en esta zona hasta ser transportados a la zona de staging correspondiente para su expedición junto con otros pedidos prontos.

8.3.3. Flujos y Transportes de Materiales

A continuación se presentan en la Tabla 20, los flujos entre sectores y transportes designados para cada uno de los movimientos realizados en esta alternativa.

Tabla 20: Medios de transporte por recorrido para alternativa Híbrida (-).

Inicio recorrido		Fin recorrido		Modo de transporte
2-R2	Zona de staging de recepción	2-C1	Recepción de pallets IN para cross-docking (<i>pulmón</i>)	Transpaleta
2-C1	Recepción de pallets IN para cross-docking (<i>pulmón</i>)	2-C2	Entrada Sorter	Traspaleta a mano
2-C6	Posiciones para clasificación por sucursal	2-C7	Zona de consolidación cross-docking	Roll container empujado por operario
2-C4	Estaciones PTL para cross-docking Unitario	2-C6	Posiciones para clasificación por sucursal	Carro / Roll container empujado por operario
2-C7	Zona de consolidación cross-docking	2-E2	Zona de staging de expedición	AMR
2-R2	Zona de staging de recepción	2-SM1	Almacenamiento palletizado (stock caja master)	Funcionario en autoelevador
2-SM1	Almacenamiento palletizado (stock caja master)	2-E2	Zona de staging de expedición	Transpaleta /Autoelevador
2-R2	Zona de staging de recepción	2-SM2	Almacenamiento palletizado para reabastecer stock unitario (importados)	Funcionario en autoelevador
2-SM2	Almacenamiento palletizado para reabastecer stock unitario (importados)	2-SU1	Recepción de pallets IN para stock unitario	Transpaleta /Autoelevador
2-R2	Zona de staging de recepción	2-SU1	Recepción de pallets IN para stock unitario	AMR
2-SU3	Consolidación de pedidos OUT de picking unitario	2-E2	Zona de staging de expedición	Roll container

8.4. Operaciones de Alternativa Híbrida (+)

8.4.1. Cross-docking master

El proceso de ingreso sigue el mismo proceso que en las alternativas anteriores. Los productos etiquetados como cross-docking son transportados a la zona de pulmón de espera (ref. 3-C1) antes de su entrada al sorter, tarea que es realizada por un operario mediante una transpaleta.

En esta alternativa, el ingreso al sorter (ref. 3-C2) se lleva a cabo por medio de un cobot despaletizador. El cobot se encarga de tomar los bultos posicionados en los pallets ubicados frente a él y los transporta hacia la zona de entrada al sorter.

Paralelamente, un AMR se encarga tanto de reponer pallets completos en dichas posiciones como de retirar los pallets vacíos. El AMR recibe una señal cuando alguna de las posiciones de despaletizado tiene un pallet vacío. Ante esta indicación, retira el pallet vacío y se desplaza a la zona de pulmón de cross-docking (ref. 3-C1) para tomar un pallet completo y llevarlo a la posición de despaletizado (ref. 3-C2). Su función es garantizar el suministro continuo de pallets con bultos a la zona de entrada del sorter, optimizando así el flujo de trabajo y la eficiencia del sistema.

Una vez dentro del sorter (ref. 3-C3), las cajas continúan su flujo de igual manera que en la alternativa anterior. Durante esta etapa, los paquetes son clasificados según las ramas correspondientes o, en su defecto, desviados hacia la rama unitaria (ref. 3-C4).

En el caso de las ramas multi-sucursal, la distribución de los paquetes en los pallets de cada sucursal se realiza manualmente por los operarios (ref. 3-C6), de igual forma que la alternativa Híbrida (-).

Por otro lado, en la rama unitaria (ref. 3-C5), las cajas se acumulan en una línea con rodillos. Al final de la línea los operarios se encargan de abrir las cajas e inducir las unidades al siguiente sistema de procesamiento, el sorter de AMRs.

8.4.2. Cross-docking Unitario e Inner

Las unidades se depositan en pequeños AMR pertenecientes al sistema de Sorter de AMRs de productos Unitario (ref. 3-C5) descrito en la sección 5.3. Se vuelve a presentar la figura 10, que muestra la configuración del sistema referido.

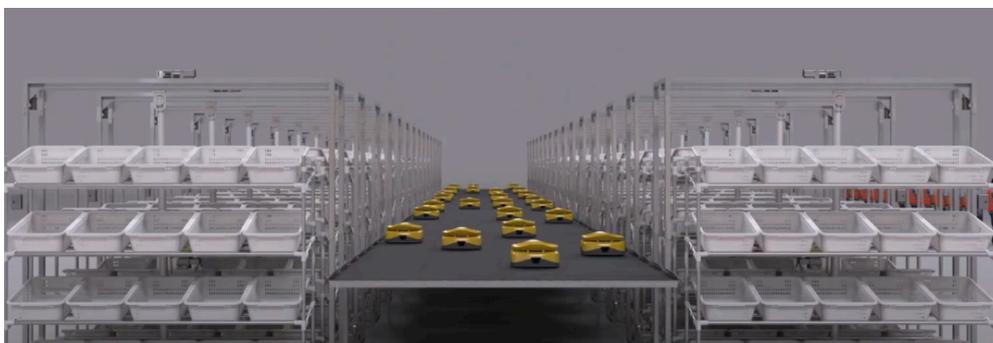


Figura 10: Sorter de AMRs. [\[34\]](#)

Cuando un cajón de una sucursal se encuentra completo, un operario debe reemplazarlo con uno vacío y traslada el completo hacia las posiciones para clasificación por sucursal del sorter principal (ref. 3-C6), depositándolo en el roll container correspondiente.

8.4.3. Stock Unitario

Para el manejo de stock unitario se implementa la tecnología de robot picking in-aisle (ref. 3-SU3) como se muestra en la figura 38, descrita en la sección 5.3.



Figura 38: Sistema de AMRs "in-aisle" picking [44].

El proceso de abastecimiento comienza en una zona de recepción (ref. 3-SU1) donde un operario recibe el pallet y lo desarma, abasteciendo los cajones del sistema con las unidades de los productos (ref. 3-SU2).

El proceso de picking es realizado por el sistema de robots de forma autónoma, y los cajones con pedidos completos son depositados en estanterías específicas (ref. 3-SU5). Luego, un operario toma estos cajones y los agrupa según sucursal en roll containers en la zona de consolidación de pedidos prontos (ref 3-SU6). Finalmente, estos roll containers son trasladados manualmente hacia la zona de staging de expedición (ref 3-E2).

8.4.4. Flujos y Transportes de Materiales

La gran mayoría de los movimientos se realiza del mismo modo que en la alternativa Híbrida (-), pero la diferencia radica en que aquí es un AMR quien realiza el recorrido desde el pulmón de ingreso al sorter hacia el punto de entrada de despaletización. Para no duplicar la información, la Tabla 21 contiene únicamente esta diferencia. El resto de los traslados se puede consultar en la Tabla 20.

Tabla 21: Medios de transporte - alternativa Híbrida (+)

Inicio recorrido		Fin recorrido		Modo de transporte
3-C1	Recepción de pallets IN para cross-docking (pulmón)	3-C2	Entrada sorter con cobot	AMR * <i>diferencia con Híbrida (-)</i>

8.5. Operaciones de Alternativa Automática

A continuación, se describe en detalle la operación de cross-docking en caja master. El resto de los procesos se llevan a cabo de forma idéntica a lo expuesto en la alternativa Híbrida (+) en la sección 8.4.

8.5.1. Cross-docking Master

La diferencia fundamental entre esta alternativa y la opción anterior radica en el tratamiento de las cajas clasificadas por el sorter en las ramas multi-sucursal (ref. 4-C3). En la alternativa Híbrida (+), la clasificación final es realizada manualmente por operarios asistidos por PDA. En contraste, en la opción automática, esta tarea es ejecutada por un AMR con brazo robótico que distribuye los bultos en las posiciones de clasificación por sucursal (ref. 4-C6), el cual se presenta nuevamente en la figura 18.



Figura 18: AMR con brazo para pick & place de bultos. [39]

El cobot toma una caja desde la rama del sorter y la transporta hasta la ubicación designada, depositando la caja en el contenedor correspondiente. Este procedimiento se repite de manera continua hasta terminar de clasificar los bultos de la rama. Para garantizar un flujo eficiente, se asigna un cobot por cada rama del sorter, lo que implica un total de 10 cobots en la operación. Si bien esta alternativa reduce la cantidad de operarios requeridos, también conlleva un considerable aumento en la complejidad de la coordinación entre todos los sistemas involucrados.

9. Cálculo de recursos humanos y robots

En esta sección del informe se expone el cálculo de mano de obra y cantidad de robots necesaria para ejecutar las operaciones de cada alternativa propuesta. Este análisis se llevó a cabo tomando como referencia el año 5, dado que es el período en el cual se dimensionaron las operaciones e instalaciones, y se estableció como muestra de referencia. La elección de este año como base permite una evaluación representativa, aunque la cantidad de mano de obra estimada puede extrapolarse a otros años.

Esta información es fundamental para seleccionar la alternativa más eficiente y considerar los costos en el análisis financiero posterior. Para el cálculo de mano de obra, no se consideraron los movimientos adicionales por períodos de zafra, ya que se considera que llegado el momento, se contratarán operarios tercerizados.

En primer lugar, se estimó un tope de funcionarios requeridos para manejar el volumen diario de cajas en el año 5 (Tabla 7), a partir de una correlación lineal y datos de la actualidad. En función de los movimientos diarios promedio de cajas y la cantidad de funcionarios que trabajaron en ambos depósitos en Octubre 2024, se obtiene el resultado de la Tabla 22. Se llegó a un valor límite de 348 funcionarios necesarios para ejecutar las operaciones al año 5. Se entiende como valor límite por que la implementación de alguna de las soluciones planteadas no puede considerar más empleados, ya que en ese caso no se estaría ni mejorando la productividad ni reduciendo de costos con el proyecto.

Tabla 22: Movimientos y funcionarios actuales y proyectados al año 5.

	Movimiento diario en cajas	Funcionarios
Actual (Octubre 2024)	21.000	155
Considerando movimientos al año 5	47.188	348

Este cálculo se basa en el supuesto de que las operaciones de la actualidad se mantienen sin cambios y que el crecimiento del volumen se debe al crecimiento anual y a la centralización de proveedores. Es importante destacar que este número sirve únicamente como referencia para estimar la cantidad de funcionarios necesarios para soportar el volumen proyectado, en caso de mantener las operaciones tal como se desarrollan en la actualidad.

El detalle de todo el cálculo de mano de obra expuesto en esta sección, se puede consultar en el Anexo electrónico 4 “Mano de Obra - Base Año 5.xlsx”.

9.1. Metodología de cálculo

El método general utilizado para el cálculo de la mano de obra se basa en la productividad, ya sea de las operaciones actuales o de la estimada para cada una de las tecnologías propuestas en las diferentes alternativas, las cuales se detallarán más adelante. A partir de los bultos que se moverían diariamente en el año de referencia, se calculó la cantidad de jornadas laborales de 8 horas requeridas para el funcionamiento de la operación.

La productividad se define como:

$$Productividad = \frac{Bultos\ movidos}{Hora\ hombre}$$

Con esta definición y considerando una productividad constante, se calcularon las horas hombre necesarias para llevar a cabo la operación:

$$Horas\ Hombre = \frac{Bultos\ movidos}{Productividad}$$

Posteriormente, se determinó la cantidad jornadas de 8 horas, FTE por sus siglas en inglés (Full Time Equivalent), que se corresponde con la cantidad de empleados:

$$FTE = \frac{Horas\ Hombre}{8}$$

Por otro lado, es relevante reflejar que además de los operarios, también hay personal administrativo trabajando en el depósito, cuya cantidad aumenta conforme crece el número de empleados y el volumen de mercadería en el depósito. Con el fin de incluir al personal administrativo en los cálculos del personal total, se buscó una fórmula distinta para su cálculo ante la dificultad de estimar su productividad ya que no es personal dedicado directamente al movimiento de cajas.

En primer lugar, se realizó un relevamiento de todo el personal existente a la fecha en los depósitos; diferenciando aquellos que son personal de soporte y administrativo, como jefes de piso, supervisores y personal de auditoría, del resto de los operarios. [\[58\]](#)

Luego, se calculó la proporción de personal administrativo por operario en ambos depósitos por separado, y se promedió el resultado final como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23: Ratio de personal administrativo y operarios.

Depósito	Personal Administrativo	Operarios	Ratio
Depósito 1	21	71	0,296
Depósito 2	19	44	0,432
Resultado promedio			0,364

Este valor será utilizado para calcular el personal administrativo requerido en cada una de las alternativas analizadas, multiplicando por el número de operarios obtenido.

9.2. Alternativa Manual

Para este caso, las productividades y los movimientos de cajas diarios a considerar se detallan en la Tabla 24.

Tabla 24: Productividad y bultos por operación - alternativa Manual.

Tarea	Productividad	Unidad	Ref	Bultos a mover diario	Unidad
Recepción	4.215	uds/hra hombre	[59]	565.308	Uds
Almacenamiento	1.200	uds/hra hombre	[59]	379.772	Uds
Picking master	54	bultos/hra hombre	Anexo electrónico 4	29.638	Bulto
Picking unitario + inner	116	uds/hra hombre	[60]	16.925	Uds
Cross-docking master	100	bultos/ hra hombre	[61]	11.099	Bulto
Cross-docking unitario + Inner	300	uds/hra hombre	[61]	83.773	Uds
Expedición	2.500	uds/hra hombre	[59]	565.308	Uds

Siguiendo la metodología de cálculo expuesta en la sección 9.1, se determinaron las horas hombre necesarias para llevar a cabo la operación en función del volumen de bultos y las productividades establecidas. Con este resultado, se calcularon los FTE requeridos para cada operación.

Además, se incluyó el personal administrativo considerado para esta alternativa, así como los requeridos para ciertos traslados específicos.

Hay dos recorridos puntuales que, debido a su alto flujo, requieren personal dedicado exclusivamente a esta tarea. Para estos recorridos, se asignará una persona por turno encargada de realizarlos de manera continua.

El primer recorrido (*Recorrido A*) va desde la zona de estanterías de clasificación cross-docking unitario (ref. 1-C4) hacia las posiciones para clasificación por sucursal (ref. 1-C3), y también desde dichas posiciones hacia la zona de consolidación de cross-docking (ref. 1-C5). Por otra parte el recorrido B se compone de dos sub-recorridos. Uno va desde las zonas de consolidación de cross-docking (ref. 1-C5) hacia el staging de expedición (ref. 1-E2), y el otro desde el staging de recepción (ref. 1-R2) hacia el sector de almacenamiento de stock unitario (ref. 1-SU1). En la figura 39 se puede ver un esquema con los recorridos.

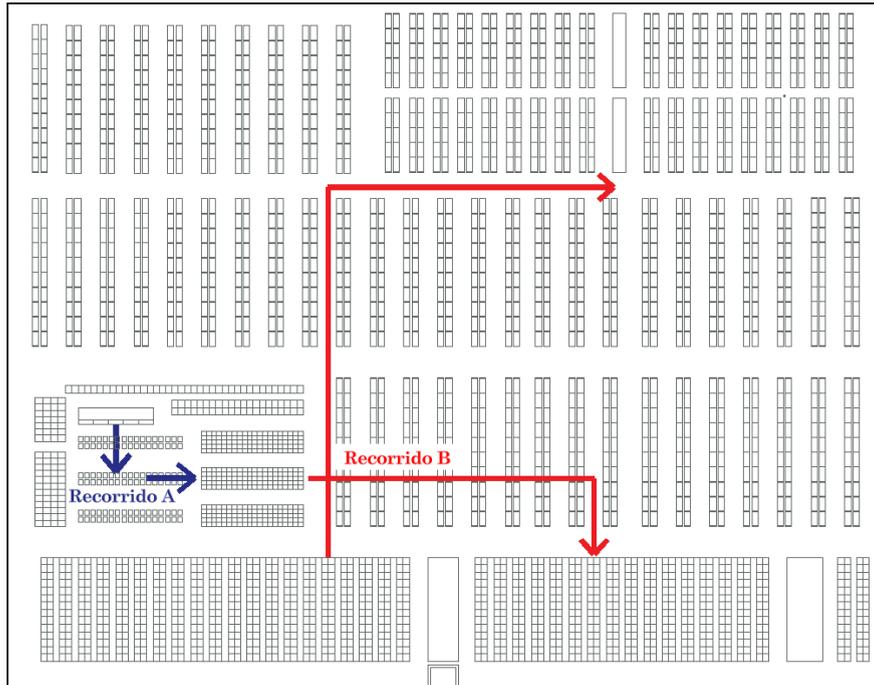


Figura 39: Esquema de recorridos alternativa Manual.

El resultado obtenido para la mano de obra de la alternativa manual se presenta en la Tabla 25.

Tabla 25: FTE por tarea - alternativa Manual.

Tarea	FTE
Recepción	17
Almacenamiento	40
Picking master	69
Picking unitario + inner	18
Cross-docking master	14
Cross-docking unitario + inner	35
Expedición	28
Traslado recorrido A	2
Traslado recorrido B	2
Personal de soporte y administrativos	81
Total	306

El cálculo arrojó un total de 306 jornadas requeridas (FTE). De estas, 224 corresponden a operarios y 81 a personal administrativo.

9.3. Alternativa Híbrida (-)

Como se detalló en la sección 8, la alternativa Híbrida (-) involucra operaciones asistidas por automatismos y robots. A continuación se explicitan las productividades y automatismos para cada operación en la Tabla 26.

Tabla 26: Productividad y bultos por operación - alternativa Híbrida (-)

Tarea	Automatismo	Productividad	Unidad	Ref	Bultos a mover diario	Unidad
Recepción		4.215	uds/hra hombre	[59]	565.308	Uds
Almacenamiento master	-	1.200	uds/hra hombre	[59]	362.804	Uds
Picking master	-	54	bultos/hra a hombre	Anexo electrónico 4	29.638	Bulto
Almacenamiento unitario	Zone picking AMR	150	bultos/hra a hombre	[62]	921	Bulto
Picking unitario + Inner	Zone picking AMR	180	uds/hra hombre	[62]	16.925	Bulto
Cross-docking unitario + Inner	PTL en bloques	1200	uds/hra hombre	[63]	83.773	Uds
Expedición		2.500	uds/hra hombre	[59]	565.308	Uds

Las operaciones para las cuales se dispone de datos de productividad, ya sea basados en información de la actualidad o en fuentes externas, así como la cantidad de personal administrativo, fueron calculadas utilizando el método descrito en la sección 9.1. Por otro lado, para aquellas operaciones que presentan particularidades en el cálculo del FTE, se detalla a continuación el procedimiento seguido.

Según los cálculos presentados en el Anexo electrónico 4 “Mano de Obra - Base Año 5.xlsx”, para la operación del sorter de cross-docking master serían necesarias solo 5 salidas. No obstante, el análisis desarrollado en la sección 7.1 concluye que disponer de 10 ramas resulta más conveniente, ya que mejora la eficiencia en la sub-clasificación por sucursal. Dado que con 10 ramas la productividad en bultos de salida por hora es relativamente baja, se decidió asignar a cada operario la gestión de dos ramas en simultáneo. Esta estrategia permite reducir el tiempo ocioso de los operarios y optimizar los recursos disponibles, en comparación con la asignación de un operario por rama. Para esta operación se requiere un total de 12 FTE, distribuidos en dos turnos. En cada turno, se asignan 5 operarios encargados de sub-clasificar los bultos, además de un operario adicional, cuyo trabajo es ingresar la mercadería en el puesto de ingreso al sorter.

Adicionalmente hay un recorrido puntual que, debido a su alto flujo, requiere una persona por turno dedicado exclusivamente a esta tarea. El *Recorrido C* va desde las estaciones PTL para cross-docking unitario (ref. 2-C5) hacia las posiciones para

clasificación por sucursal (ref. 2-C6), y también desde dichas posiciones hacia la zona de consolidación de cross-docking (ref. 2-C7). Este recorrido se encuentra esquematizado en la figura 40.

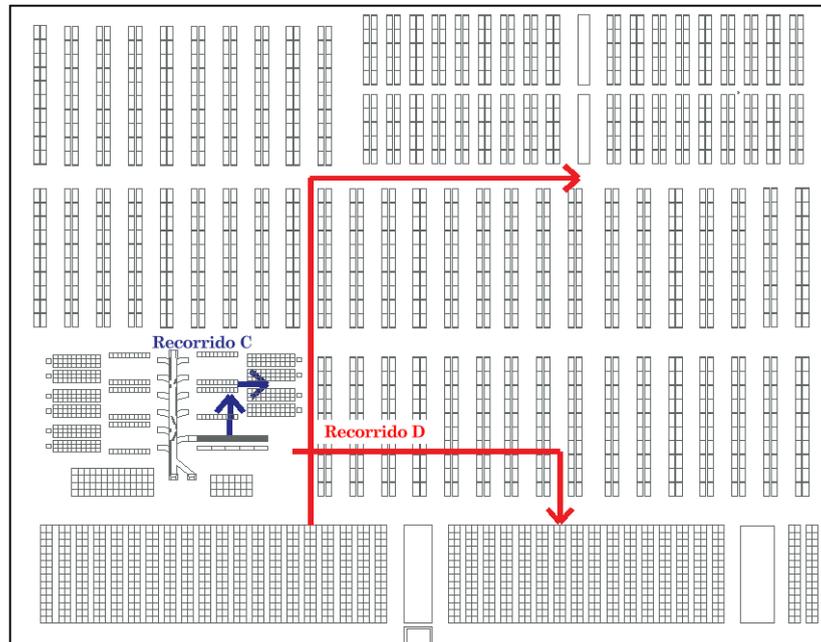


Figura 40: Esquema de recorridos alternativa Híbrida (-).

El resultado total para la mano de obra de la alternativa Híbrida (-) se presenta en la Tabla 27.

Tabla 27: FTE por tarea - alternativa Híbrida (-)

Tarea	Automatismo	FTE
Recepción	-	17
Almacenamiento master	-	38
Picking master	-	69
Almacenamiento unitario	Zone picking AMR	1
Picking unitario + Inner	Zone picking AMR	12
Cross-docking unitario + inner	PTL en bloques	9
Expedición	-	28
Cross-docking master	Sorter	12
Traslado recorrido C	-	2
Personal de soporte y administrativos	-	67
Total		255

Por otra parte, como esta alternativa implica compra de robots, se deben calcular las cantidades requeridas para la operación.

Para la operación de Stock unitario, fue necesario calcular la cantidad requerida de AMRs encargados de asistir en el zone picking. A partir de los datos relevados en un caso

de éxito de este sistema [64], en el que se expone un ratio de 0,46 operarios de picking por robot y una productividad de 180 bultos por hora por operario asistido por robots, se determinó que para operar se requieren 12 pickers y 26 robots.

En esta alternativa el *recorrido D* de la mercadería se realiza con asistencia de AMRs y se compone de dos sub-recorridos. Va desde las zonas de consolidación de cross-docking (ref. 2-C7) hacia el staging de expedición (ref. 2-E2), y el otro desde el staging de recepción (ref. 2-R2) hacia el sector de almacenamiento de stock unitario (ref. 2-SU1). El recorrido es esquematizado en la figura 40, expuesta previamente.

Para calcular la cantidad necesaria de estos robots destinados a transporte, se consideran 4 factores: la distancias a recorrer, la velocidad promedio de los robots, la cantidad de pallets a mover diariamente y el tiempo de ciclo del cobot. A partir de estos datos, se calcula la cantidad de horas robot requeridas, concluyendo que sería suficiente con un solo robot para llevar a cabo ambos traslados. Este ahorro no es despreciable porque reemplaza el trabajo de dos operarios por turno.

La Tabla 28 resume el tipo y cantidad de robots por tarea para esta alternativa de operación.

Tabla 28: Robots - alternativa Híbrida (-)

Tarea	Automatismo	Robots
Picking unitario + Inner	Zone picking AMR	26
Traslado recorrido D	AMR	1

En conclusión, se observa una optimización en la cantidad de operarios necesarios en comparación con la opción manual. Las operaciones de recepción, picking en cajas y expedición, mantienen la misma cantidad de personal. No obstante, aquellas tareas que incorporan nuevas tecnologías, presentan una disminución en el número de operarios: el picking unitario reduce la necesidad de personal de 18 a 12, el cross-docking unitario de 35 a 10 y el cross-docking master de 14 a 12. Además, la reducción en el número de operarios en las tareas mencionadas también impacta la cantidad de personal administrativo, que pasa de 81 a 67 empleados.

9.4. Alternativa Híbrida (+)

A continuación, en la Tabla 29, se explicitan las productividades y automatismos para cada operación.

Tabla 29: Productividad y bultos por operación - alternativa Híbrida (+)

Tarea	Automatismo	Productividad	Unidad	Ref	Unidades a mover diario	Unidad
Recepción		4.215	uds/hra hombre	[59]	565.308	Uds
Almacenamiento master	-	1.200	uds/hra hombre	[59]	362.804	Uds
Picking master	-	54	bultos/hra hombre	Anexo electrónico 4	29.638	Bulto
Almacenamiento unitario	AMR robot picking "in-aisle"	35	bultos/hra hombre	[38]	921	Bulto
Picking unitario	AMR robot picking "in-aisle"	50	uds/hra hombre	[38]	16.925	Bulto
Cross-docking unitario + inner	Sorter AMR	581	uds/hra/robot	[65]	83.773	Uds
Expedición		2.500	uds/hra hombre	[59]	565.308	Uds

Aplicando la metodología de cálculo explicada en la sección 9.1 y considerando la información de la tabla anterior, el cálculo de mano de obra dio como resultado los valores presentados en la Tabla 30.

Para el sistema de picking unitario con *AMR robot picking "in-aisle"*, el proveedor de referencia indica que solo se requiere un operario para asistir la estación *goods-to-person (GTP)* (ref. 3-SU4). Por lo que se contará con 3 FTE en total, debido a que este sistema opera 3 turnos. Dado que la necesidad de asistencia en esta estación es esporádica y sólo se produce cuando el robot lo requiere, el mismo operario también puede encargarse de la recolección de los cajones con pedidos completados en la salida (ref. 3-SU5), optimizando así la utilización de los recursos humanos. [38]

A su vez, el sistema requiere personal dedicado al reabastecimiento del mismo (ref. 3-SU1, 3-SU2). Este proceso consiste en abrir las cajas de productos, tanto cajas master como inner, y colocar las unidades sueltas dentro de cajones estándar. El cálculo del personal necesario se llevó a cabo mediante un proceso iterativo, en el que se asumieron diferentes cantidades de operarios para esta tarea y se estimó la cantidad de cajas a manipular por hora para alcanzar la cantidad de unidades a ingresar al sistema por turno. Este procedimiento se repitió hasta obtener un número razonable de bultos por hora que un operario pudiera manejar. Como resultado, se concluyó que esta tarea requiere únicamente medio FTE en cada uno de los tres turnos de operación del sistema, lo que equivale a un total de 1,5 FTE.

Para las salidas del sorter de cajas, los cálculos realizados son los mismos que los presentados en la alternativa Híbrida (-), lo que resulta en un total de 10 operarios necesarios distribuidos en 2 turnos. En esta alternativa no se considera personal para ingresar bultos al sistema ya que el ingreso lo realiza un cobot despaletizador en conjunto con un AMR que lo asiste.

Para el sorter de AMR, la cantidad de operarios está directamente relacionada con el número de entradas necesarias al sistema. Según los cálculos presentados en la sección 6.2., se determinó que se requieren tres puntos de ingreso, lo que implica la necesidad de 3 operarios por turno. Como este sistema opera en dos turnos al igual que el sorter de cajas, el cálculo da un total de 6 operarios.

Adicionalmente hay un recorrido puntual que, debido a su alto flujo, requiere una persona por turno dedicada exclusivamente a esta tarea. El *Recorrido E* va desde el sorter con AMR para cross-docking unitario (ref. 3-C5) hacia las posiciones para clasificación por sucursal (ref. 3-C6), y también desde dichas posiciones hacia la zona de consolidación de cross-docking (ref. 3-C7). Este recorrido es análogo al *Recorrido C* de la alternativa híbrida anterior, presentado esquemáticamente en la figura 40.

También fue considerado el personal de soporte y administrativo, calculado de la misma forma que fue expuesto en las secciones anteriores, totalizando 63 funcionarios.

Tabla 30: FTE por tarea - alternativa Híbrida (+)

Tarea	Automatismo	FTE
Recepción	-	17
Almacenamiento master	-	38
Picking master	-	69
Expedición	-	28
Almacenamiento unitario	AMR robot picking "in-aisle"	1,5
Picking unitario + inner (<i>GTP</i>)	AMR robot picking "in-aisle"	3
Cross-docking unitario + inner	Sorter AMR	6
Cross-docking master	Sorter	10
Traslado recorrido E	-	2
Personal de soporte y administrativo	-	63
Total		237

Posteriormente se calculó la cantidad de robots necesarios para las operaciones obteniendo los resultados de la Tabla 31.

Para el picking unitario mediante el sistema de AMR “in-aisle”, es fundamental conocer la productividad de picking de cada robot para determinar la cantidad requerida. A partir de un proveedor de referencia, se estableció que un robot puede pickear aproximadamente 50 unidades por hora [38]. Dado que cada robot opera de manera efectiva durante 20 horas al día, considerando que requiere 1 hora de carga por cada 5 horas de trabajo, se estima que serían necesarios 17 robots para cumplir con la demanda.

En lo que respecta al almacenamiento dentro de este sistema, el proveedor estima una capacidad de entre 30 y 40 bultos por hora. Para efectos del proyecto, se adopta un valor promedio de 35 bultos por hora, lo que implica la necesidad de un robot dedicado a esta tarea. Es importante destacar que este robot no se asigna exclusivamente al almacenamiento, pero debe ser considerado para el correcto dimensionamiento del

sistema. En consecuencia, el total de robots necesarios para toda la operación asciende a 18.

En esta alternativa, la alimentación de cajas del sorter para cross-docking master (ref. 3-C2) es realizada por un cobot despaletizador, el cual es asistido por un AMR encargado de transportar los pallets desde el pulmón de cross-docking (ref. 3-C1) hasta el punto de ingreso. Esto implica la incorporación de 2 robots adicionales al sistema para llevar a cabo esta tarea, un cobot despaletizador y un AMR.

Al igual que en el caso anterior, el *recorrido F* de la mercadería se realiza con asistencia de AMRs. Este recorrido va desde las zonas de consolidación de cross-docking (ref. 3-C7) hacia el staging de expedición (ref. 3-E2), y también desde el staging de recepción (ref. 3-R2) hacia el sector de recepción de pallets para stock unitario (ref. 3-SU1). El *Recorrido F* es análogo al *Recorrido D* de la alternativa híbrida anterior, cuyo esquema fue previamente presentado en la figura 40.

Tabla 31: Robots - alternativa Híbrida (+)

Tarea	Automatismo	Robot
Almacenamiento unitario	AMR robot picking "in-aisle"	1
Picking unitario + inner	AMR robot picking "in-aisle"	17
Ingreso bultos a Sorter (Cross-docking master)	Cobot despaletizador	1
	AMR	1
Traslado recorrido F	AMR	1

Al igual que en la alternativa Híbrida (-), las operaciones básicas no presentan variaciones en la cantidad de personal requerido en comparación con la opción manual, dado que no se implementan mejoras en los sistemas ni en la operativa. Esto incluye procesos como recepción, almacenamiento de cajas master y picking a caja master, entre otros.

Sin embargo, sí se observa una reducción significativa en la cantidad de personal destinado al almacenamiento y picking de unidades, disminuyendo a un total de 4,5 FTE, en contraste con las 13 personas necesarias en la alternativa Híbrida (-).

En cuanto al cross-docking master, la reducción de personal es menor, con una disminución de dos personas debido a que únicamente se altera el proceso de entrada al sistema. Los 2 FTE encargados de alimentar los bultos al sorter en la alternativa Híbrida (-) (1 FTE por turno), son reemplazados por dos cobots (despaletizador y AMR).

Finalmente, la reducción general de operarios también impacta la cantidad de funcionarios administrativos contemplados, resultando en un total de 63 funcionarios, en comparación con los 67 de la alternativa anterior.

9.5. Alternativa Automática

En la alternativa Automática, la única diferencia planteada con la alternativa Híbrida (+) se ve en las posiciones para clasificación por sucursal (ref. 4-C6), donde cobots reemplazan la tarea de los humanos al clasificar los bultos por sucursal. Los resultados obtenidos para esta alternativa pueden verse en las Tablas 32 y 33.

De igual manera que en las alternativas anteriores, hay un recorrido específico (*recorrido G*) que requiere a una persona dedicada por turno. Este recorrido es análogo al *Recorrido C* de la alternativa Híbrida (-), presentado esquemáticamente en la figura 40. Va desde el sorter con AMR para cross-docking unitario (ref. 4-C5) hacia las posiciones para clasificación por sucursal (ref. 4-C6), y también desde dichas posiciones hacia la zona de consolidación de cross-docking (ref. 4-C7).

Tabla 32: FTE por tarea - alternativa Automática

Tarea	Automatismo	FTE
Recepción		17
Almacenamiento master	-	38
Picking master	-	69
Expedición		28
Almacenamiento unitario	AMR robot picking "in-aisle"	1,5
Picking unitario + inner (<i>GTP</i>)	AMR robot picking "in-aisle"	3
Cross-docking unitario + inner	Sorter AMR	6
Traslado recorrido G		2
Personal de soporte y administrativo		60
Total		224

Como se mencionó al comienzo de la sección en este caso, se contempla un cobot por rama de salida de sorter (ref. 4-C6), es decir en total se requieren 10 cobots para realizar el "pick & place" de los bultos.

Por otro lado, el *recorrido H* de la mercadería se realiza con asistencia de AMRs. Este recorrido es análogo al *Recorrido D* de la alternativa Híbrida (-), presentado esquemáticamente en la figura 40. Va desde las zonas de consolidación de cross-docking (ref. 4-C7) hacia el staging de expedición (ref. 4-E2), y también desde el staging de recepción (ref. 4-R2) hacia el sector de recepción de pallets para stock unitario (ref. 4-SU1).

El resto de los robots utilizados para esta alternativa son los mismos expuestos en la Tabla 31 de la opción Híbrida (+).

Tabla 33: Robots - alternativa Automática

Tarea	Automatismo	Robot
Almacenamiento unitario	AMR robot picking "in-aisle"	1
Picking unitario + inner	AMR robot picking "in-aisle"	17
Cross-docking master	AMR con brazo "pick & place"	10
Ingreso bultos a Sorter (Cross-docking master)	Cobot despaletizador	1
	AMR	1
Traslado recorrido H	AMR	1

Como conclusión para los resultados obtenidos, se observa una disminución de operarios en la operación del sorter para cross-docking, la cual también se ve reflejada en una reducción de personal administrativo en comparación con la alternativa anterior, pasando de un total de 63 FTE a 60 FTE.

9.6. Resumen de resultados

Los resultados obtenidos para la mano de obra se resumen en la Tabla 34.

Tabla 34: Comparación de FTE por alternativa

FTEs				
Operación	Alternativa			
	Manual	Híbrida (-)	Híbrida (+)	Automática
Recepción	17	17	17	17
Almacenamiento master	40	38	38	38
Almacenamiento unitario		1	1,5	1,5
Picking master	69	69	69	69
Picking unitario + inner	18	12	3	3
Cross-docking Master	14	12	10	0
Cross-docking unitario + inner	35	9	6	6
Traslados ¹²	4	2	2	2
Expedición	28	28	28	28
Total personal operativo	225	188	174,5	164,5
Personal de soporte y administración	81	67	63	60
Total	306	255	237,5	224,5

En la tabla se observa claramente la tendencia de reducción del personal a medida que se incrementa el nivel de automatización en las operaciones. Mientras que las tareas que permanecen sin cambios en todas las alternativas mantienen una cantidad constante de operarios, las actividades que se ven directamente impactadas por la automatización: el

¹² Refiere a la totalidad de los traslados referenciados por alternativa.

picking unitario, el cross-docking y ciertos traslados internos, experimentan una disminución en la cantidad de personal requerido.

Particularmente, en el caso del picking unitario y del cross-docking, la implementación de tecnologías como los robots móviles autónomos (AMRs) y sistemas de clasificación automatizada (sorters) generan una reducción significativa en la cantidad de operarios. La opción más automatizada es, como era de esperarse, la que demanda menor cantidad de personal.

Para facilitar el entendimiento, en la Tabla 35 se presenta la reducción de personal para cada alternativa y cada operación respecto a la alternativa Manual.

Tabla 35: Reducción de FTE por alternativa contra alternativa Manual

FTEs - % de reducción respecto a alternativa Manual			
Operación	Alternativa		
	Híbrida (-)	Híbrida (+)	Automática
Recepción	0%	0%	0%
Almacenamiento master	-3%	-1%	-1%
Almacenamiento unitario			
Picking master	0%	0%	0%
Picking unitario + inner	-36%	-84%	-84%
Cross-docking Master	-14%	-28%	-100%
Cross-docking Inner/Unitario	-75%	-83%	-83%
Traslados	-50%	-50%	-50%
Expedición	0%	0%	0%
Total personal operativo	-17%	-22%	-27%
Personal de soporte y administración	-17%	-23%	-27%
Total	-17%	-23%	-27%

En cuanto al cálculo de los robots, el resumen de resultados se presenta en la Tabla 36.

Tabla 36: Comparación de robots por alternativa

ROBOTS				
Operación	Alternativa			
	Manual	Híbrida (-)	Híbrida (+)	Automática
Recepción	0	0	0	0
Almacenamiento master	0	0	0	0
Picking master	0	0	0	0
Almacenamiento unitario	0	26	18	18
Picking unitario + inner	0			
Cross-docking Master	0	0	2	12
Cross-docking Inner/Unitario	0	0	0	0
Traslados	0	1	1	1
Expedición	0	0	0	0
Total	0	27	21	31

El impacto real de cada robot se podrá evaluar con mayor precisión en el análisis económico y financiero, considerando no solo la cantidad de robots requeridos, sino también el tipo y el monto de inversión.

10. Evaluación económica y financiera

En esta sección del informe se lleva a cabo el análisis económico y financiero de las cuatro alternativas de solución propuestas. Los cálculos realizados incluyen la proyección de crecimiento de todos los recursos, la depreciación y los egresos. Con estos valores, se elaboró el flujo de fondos, se calculó un posible financiamiento y, posteriormente, se aplicaron métodos de evaluación para apoyar la toma de decisiones en función de los flujos de fondos. Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad que permite validar los resultados obtenidos.

Esta evaluación es fundamental para la toma de decisiones, ya que permite determinar la viabilidad del proyecto de inversión y constituye la base para establecer cuál de las opciones es la más conveniente.

Para consultar los cálculos y planillas realizadas en esta sección se recomienda consultar el Anexo electrónico 11 “Análisis económico y financiero. xlsx”

10.1. Supuestos clave

Para el desarrollo del estudio se partió de la base de un conjunto de supuestos que se respetaron a lo largo del análisis los cuales se desarrollan a continuación:

- **Estructura del depósito:** se parte de la base de que, como se explicó en la sección 3.6, ya se cuenta con el terreno y la estructura para el centro de distribución. Por lo tanto no se cotiza ni dimensiona la obra civil.
- **Personal contratado:** se asume que se mantienen todos los funcionarios que hay hoy y que todos los adicionales son nuevas contrataciones. Esto implica que el análisis financiero no contempla indemnizaciones por despido.
- **Centralización de proveedores:** se asume que se centraliza casi la totalidad de los proveedores considerados, y se les cobrará una tasa mensual por este servicio.
- **El costo de la tecnología:** la experiencia indica que con el paso de los años el precio de la tecnología baja, sin embargo para simplificar el estudio, se asume que el precio de compra de los bienes tecnológicos se mantiene durante los 10 años que se proyectan.
- **Tipo de cambio vs IPC:** se ha adoptado como supuesto fundamental que la evolución del tipo de cambio (precio del dólar) mantiene una correlación directa con la variación del Índice de Precios al Consumidor (IPC). Esta premisa implica que las proyecciones consideran que la depreciación o apreciación del peso uruguayo frente al dólar estadounidense se comportará de manera equiparable a la tasa de inflación medida por el IPC durante el horizonte temporal analizado.
- **Comienzo de la operación:** Las inversiones se asume que se realizan el 31 de diciembre del año 0, es decir, el año 0 no hay operación, sino que solo el montaje del centro de distribución. Este punto implica que el pago de sueldos se contabiliza a partir del primer año.

10.2. Proyección de crecimiento

Como ya se explicó y justificó en la sección 4.4, se determinó una tasa de crecimiento anual proyectada del 6.88% en el volumen de operaciones. Con base en esta proyección se ha desarrollado un estudio para planificar la incorporación escalonada de recursos a lo

largo del horizonte de evaluación del proyecto. Este enfoque de inversión progresiva permite optimizar el uso de capital y adaptar la capacidad operativa a las necesidades reales del negocio en cada periodo.

Un principio fundamental de esta planificación es adquirir cada recurso únicamente en el momento en que se vuelve necesario, evitando así inversiones anticipadas al año 0 que podrían disminuir la eficiencia del capital invertido. La proyección de necesidades se realiza de forma lineal, relacionando directamente el volumen de bultos a mover con la cantidad de FTE requeridos, los cobots de picking y la cantidad de pallets a procesar, con el fin de dimensionar adecuadamente recursos como montacargas, transpaletas, AMRs, despaletizadores y autoelevadores.

A modo de ejemplo, se explica el cálculo de la proyección de los FTE necesarios por alternativa, el detalle para el resto de los recursos se puede consultar en el anexo electrónico 11 “Análisis económico y financiero. xlsx”.

Se parte de la base del Anexo electrónico 4 “Mano de Obra - Base Año 5.xlsx”, donde se calcularon los FTE necesarios para el quinto año de operación. En la Tabla 37 se expone, para cada alternativa, el ratio FTE/Bulto utilizado para realizar la proyección lineal hacia adelante y hacia atrás en el tiempo.

Tabla 37: Ratio FTE/Bulto por operación

Año 5			
Alternativa	Bultos diarios	FTE	Ratio FTE/Bulto
Manual	47.188	306	0,00649
Híbrida (-)	47.188	255	0,00540
Híbrida (+)	47.188	237	0,00503
Automática	47.188	221	0,00468

Como resultado, en la Tabla 38 se presenta la cantidad de funcionarios requeridos a lo largo de los 10 años de operación, calculada en base al ratio establecido en la Tabla 37 y a los movimientos proyectados para cada año.

Tabla 38: Proyección de crecimiento de FTE por alternativa.

Alternativa	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Manual	220	235	251	268	286	306	327	350	374	400	427
Híbrida (-)	183	195	209	223	238	255	272	291	311	332	355
Híbrida (+)	170	182	194	208	222	237	254	271	290	310	331
Automática	158	169	181	193	207	221	236	252	270	288	308

10.3. Inversiones Iniciales

Para cuantificar las inversiones del proyecto, se investigó el precio unitario y la vida útil de cada entidad. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 39 junto con una columna con la referencia de donde se extrajo cada dato.

Tabla 39: Inversiones Iniciales

Recurso	Precio Unitario (USD)	Vida Útil (Años)	Ref
PDA	\$ 880	3	[66]
Estanterías Put to light	\$ 1.665	10	[67]
Transpaleta manual	\$ 280	1	[66]
Transpaleta eléctrica	\$ 7.500	3	[66]
Sorter	\$ 1.800.000	25	[68]
Cinta de rodillos	\$ 384	10	[69]
AMR para Zone Picking	\$ 35.000	12	[70]
AMR Transporte	\$ 30.000	12	[71]
Cobot - Brazo despaletizador	\$ 100.000	12	[72]
Sorter Unitario	\$ 650.000	12	[73]
Robot de picking autónomo "in-aisle"	\$ 80.000	12	[38]
AMR con brazo "pick & place"	\$ 100.000	12	[72]
Rack tradicionales	\$ 785	30	[74]
Estanteria para picking unitario	\$ 336	25	[74]
Autoelevadores	\$ 39.250	15	[75]
Estante para cajones	\$ 150	10	[76]

Para determinar las inversiones necesarias por año, se empleó la tabla de crecimientos previamente mencionada, junto con la tabla de inversiones unitarias. Asimismo, se consideró un porcentaje adicional del 2% sobre la inversión inicial para cubrir posibles imprevistos, con el fin de garantizar un margen de seguridad adecuado.

A modo ilustrativo, se muestra en la Tabla 40 las inversiones para los primeros dos años de operación de la alternativa Híbrida (+), considerando los precios unitarios expuestos en la tabla anterior y las cantidades requeridas para la operación. Esta tabla es solo un resumen ilustrativo, el detalle completo proyectado al año 10 y del resto de las alternativas se puede consultar en el Anexo electrónico 11 "Análisis económico y financiero. xlsx".

Tabla 40: Inversiones de alternativa Híbrida (+) Año 0 y Año 1.

Alternativa Híbrida (+)			Año 0		Año 1	
Rubro	Precio Unitario (USD)	Vida útil (años)	Cantidad	Inversión (USD)	Cantidad	Inversión (USD)
Sorter	\$ 1.800.000	25	1	\$ 1.800.000	0	\$ 0
Cobot - Brazo despaletizador	\$ 100.000	12	1	\$ 100.000	0	\$ 0
Sorter Unitario	\$ 650.000	12	1	\$ 650.000	0	\$ 0
Robot de picking autónomo “in aisle”	\$ 80.000	12	13	\$ 1.040.000	1	\$ 80.000
AMR Transporte	\$ 30.000	12	1	\$ 30.000	1	\$ 30.000
PDA	\$ 880	3	85	\$ 74.800	6	\$ 5.280
Traspaleta manual	\$ 280	1	19	\$ 5.320	0	\$ 0
Traspaleta eléctrica	\$ 7.500	3	25	\$ 187.500	1	\$ 7.500
Autoelevadores	\$ 39.250	15	16	\$ 628.000	1	\$ 39.250
Racks tradicionales	\$ 785	30	1030	\$ 808.233	0	\$ 0
Porcentaje de imprevistos	2%	-	-	\$ 103.175	-	\$ 3.241
Total				\$ 5.261.901		\$ 165.271

10.4. Depreciación

Todo proyecto de inversión que involucre la adquisición de bienes de uso lleva asociado un costo financiero por la devaluación en el tiempo de dicho bien. Este concepto se conoce como depreciación.

El primer paso para cada alternativa fue calcular la cuota anual de depreciación de cada una de las inversiones a su vida útil. A modo de ejemplo, se muestra la Tabla 41, que se elaboró para la alternativa Híbrida (+). Esa cuota de depreciación representa el valor que pierde cada bien en un año, y se calculó como el cociente entre el valor unitario de la inversión y su vida útil.

Tabla 41: Depreciación de inversiones alternativa Híbrida (+)

Alternativa Híbrida (+)			
Inversiones	Precio Unitario (USD)	Vida útil (Años)	Cuota depreciación anual por unidad
Sorter	\$1.800.000	25	\$72.000
Cobot - Brazo despaletizador	\$100.000	12	\$8.333
Sorter Unitario	\$650.000	12	\$54.167
Robot de picking autónomo "in aisle"	\$80.000	12	\$6.667
AMR Transporte	\$30.000	12	\$2.500
PDA	\$880	3	\$293
Transpaleta manual	\$280	1	\$280
Transpaleta eléctrica	\$7.500	3	\$2.500
Autoelevadores	\$39.250	15	\$2.617
Racks tradicionales	\$785	30	\$26
Estanterías para picking unitario	\$336	25	\$13

Es importante tener en cuenta que para aquellos bienes que tienen una vida útil menor a la del horizonte del proyecto (10 años), se deberán considerar los correspondientes reemplazos. Un claro ejemplo de esto son las PDA, que cada 3 años termina su vida útil, deben descartarse y comprarse nuevas.

A la vez, las existencias tienen un valor residual al fin del periodo de análisis. El valor residual es el valor que una empresa prevé recibir por un activo al término de su vida útil, una vez descontados los posibles gastos asociados a su desapropiación. Este monto se calcula como el valor de la inversión menos la depreciación acumulada hasta ese año.

Para cada inversión de cada alternativa se hicieron 2 tablas, una de existencias (stock) y otra de capital. Para la alternativa Híbrida (+) se muestra en la Tabla 42 un ejemplo de tabla de existencias para las PDA. En esta se considera: la cantidad necesaria para operar, las altas por el crecimiento anual proyectado, las altas por reposición de equipos, y las bajas que llegan al fin de su vida útil.

Tabla 42: Existencias de PDA - alternativa Híbrida (+)

PDA	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Cantidad total requerida para operación	85	91	97	104	111	119	127	135	145	155	165
Alta Stock - Por Crecimiento	85	6	6	7	7	8	8	8	10	10	10
Alta Stock - Por reposición	0	0	0	85	6	6	92	13	14	100	21
Baja Stock	0	0	0	-85	-6	-6	-92	-13	-14	-100	-21

En la Tabla 43, se contempla la inversión en PDAs debido al crecimiento anual y al reemplazo de equipos para los primeros 5 años de operación. Además, se incluye la cuota de depreciación correspondiente a cada año de la vida útil del bien, la depreciación total, que representa la suma de todas las cuotas, y el valor residual contable, calculado como la diferencia entre las inversiones y la depreciación total.

Tabla 43: Cuotas de depreciación de PDA (USD) - Alternativa Híbrida (+)

PDA	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión por crecimiento	\$74.800	\$5.280	\$5.280	\$6.160	\$6.160	\$7.040
Reemplazo de equipos	\$0	\$0	\$0	\$74.800	\$5.280	\$5.280
<i>Depreciación - Cuota 1</i>	\$0	\$24.933	\$1.760	\$1.760	\$26.987	\$3.813
<i>Depreciación - Cuota 2</i>	\$0	\$0	\$24.933	\$1.760	\$1.760	\$26.987
<i>Depreciación - Cuota 3</i>	\$0	\$0	\$0	\$24.933	\$1.760	\$1.760
Depreciación Total	\$0	\$24.933	\$26.693	\$28.453	\$30.507	\$32.560
Valor Residual Contable USD	\$74.800	\$55.147	\$33.733	\$86.240	\$67.173	\$46.933

A continuación se muestra en la Tabla 44 un resumen de los totales obtenidos a partir del cálculo de depreciación para la alternativa Híbrida (+) para algunos años representativos.

Tabla 44: Resultados de depreciación - Alternativa Híbrida (+) para los años 0, 1, 5 y 10

Alternativa	Resumen	Año 0	Año 1	Año 5	Año 10
Híbrida (+)	Total Depreciación	\$ -	\$ 385.228	\$ 449.988	\$ 558.828
	Total Valor Residual Contable	\$ 5.323.853	\$ 5.105.976	\$ 4.323.554	\$ 3.557.988

10.5. Egresos

El estudio de los egresos involucra los desembolsos operativos del proyecto: costos de mantenimiento, sueldos y seguros sobre equipos. Es importante aclarar que se asume

que se aseguran solo los equipos eléctricos de alto valor, como: Sorter, Sorter Unitario, AMR transporte, despaletizador de entrada a sorter, robot de picking autónomo en “in aisle”, transpaleta eléctrica, autoelevadores, entre otros.

Cabe aclarar que el sueldo de los funcionarios es de 18.000 USD anuales, y fue compartido por la contraparte. Este se refiere al costo empresa del funcionario y no el salario nominal, es decir que ya incluye los aportes patronales.

10.5.1. Costos de Mantenimiento

Como se va a invertir en equipamiento tecnológico que va a estar en constante uso y donde la producción y rendimiento del centro depende en gran medida de estos equipos, es imprescindible considerar el costo de mantenimiento de los mismos.

Para los egresos por mantenimiento se considera una cuota anual fija como un porcentaje de la inversión inicial. Según la bibliografía consultada, esta cuota ronda entre el 5% y el 15% dependiendo del activo [77][78]. En los casos donde la inversión es baja, es más representativo considerar un costo de mantenimiento mayor. Siguiendo este criterio, se elaboró una estimación para cada uno de los activos, resumido en la Tabla 45.

Tabla 45: Cuota de mantenimiento anual por equipo.

Equipo	Porcentaje anual de mantenimiento
Sorter	5%
Cobot - Brazo despaletizador	5%
Sorter Unitario	5%
Robot de picking autónomo “in aisle”	5%
AMR Transporte	5%
PDA	10%
Transpaleta manual	10%
Transpaleta eléctrica	10%
Autoelevadores	5%
Racks tradicionales	5%
AMR con brazo “pick & place”	5%
Estanterías Put to light	15%
Cinta de rodillos	15%
AMR para Zone Picking	5%
Estanterias para picking unitario	5%
Estanterias para picking unitario	10%
Estante de cajones	10%

10.5.2. Mano de obra

Para calcular los egresos anuales por pago de salarios al personal, la empresa proporcionó un costo promedio por empleado, el cual se multiplica cada año por la cantidad de FTE necesarios. Como se puede observar en los resultados presentados en el Anexo electrónico 11 “Análisis económico y financiero. xlsx”, los salarios constituyen el costo más significativo durante los años de operación. El principal beneficio de las opciones más automatizadas radica en la reducción de este costo.

10.5.3. Seguros

Teniendo en cuenta el primero de los puntos que se aclaró en la introducción a la sección 10.5 Egresos, para el cálculo del costo de los seguros se procedió de la misma forma que para el costo de mantenimiento.

Se definieron tasas anuales tanto para los equipos como para los accidentes de trabajo. Para los equipos, se estimó una tasa basada en las cuotas de seguros de tecnologías similares pagadas por la empresa actualmente, fijándose en un 0,35% del valor del equipo [66]. Por otro lado, se estableció una tasa de 0,40% para el seguro de accidentes de trabajo [66], la cual se aplica directamente sobre el valor total de los salarios de cada periodo.

10.5.4. Resumen de egresos

A modo de resumen representativo, se muestra la Tabla 46 con el desglose de egresos para el año 1, 5 y 10 para cada una de las 4 alternativas de operación.

Tabla 46: Egresos por alternativa, Años 1, 5 y 10.

Alternativa	Egresos	Año 1	Año 5	Año 10
Manual	Mantenimiento	\$112.949	\$128.953	\$159.419
	Personal	\$3.951.559	\$5.156.924	\$7.193.142
	Seguros	\$18.660	\$24.215	\$33.800
	Total	\$4.083.169	\$5.310.093	\$7.386.362
Híbrida (-)	Mantenimiento	\$231.382	\$255.696	\$302.782
	Personal	\$3.286.484	\$4.288.978	\$5.982.486
	Seguros	\$24.733	\$30.088	\$39.528
	Total	\$3.542.598	\$4.574.762	\$6.324.795
Híbrida (+)	Mantenimiento	\$279.574	\$312.462	\$367.254
	Personal	\$3.061.006	\$3.994.722	\$5.572.042
	Seguros	\$27.768	\$33.461	\$42.996
	Total	\$3.368.348	\$4.340.645	\$5.982.322
Automática	Mantenimiento	\$329.046	\$361.758	\$415.316
	Personal	\$2.849.815	\$3.719.110	\$5.187.605
	Seguros	\$30.424	\$35.859	\$44.958
	Total	\$3.209.285	\$4.116.727	\$5.648.879

Al observar la tabla, se puede identificar dónde se concentra el mayor ahorro entre las distintas opciones, siendo el costo de personal el principal egreso en todos los casos.

10.6. Ingresos

El único ingreso considerado en este proyecto proviene de la cuota de centralización cobrada a los proveedores por asumir la gestión logística de sus productos. Esta cuota se calcula como un porcentaje del valor de compra de la mercadería ingresada al depósito, este porcentaje varía según cada proveedor. Al negociar el acuerdo de centralización con los proveedores, la empresa considera todos los costos logísticos que asume: costo de mano de obra, costo de almacenamiento y costo de distribución a las sucursales. Para calcular este ingreso del proyecto, se tomó la compra por proveedor del 2024 y se le aplicaron los porcentajes correspondientes.

No obstante, el alcance del proyecto no abarca la gestión del transporte y tampoco costos fijos, que en comparación a los montos de inversión son menores y difíciles de estimar, como los servicios, impuestos, seguridad, etc. Es por esto que se decidió descontar de estos ingresos la cuotaparte de los costos estimados de transporte y los gastos generales del depósito, obteniendo así un valor más representativo y acorde al alcance del proyecto.

Para estimar esta cuotaparte, se partió del porcentaje que estos costos actualmente representan sobre el valor de compra de mercadería ingresada al depósito y se aplicó esa

misma proporción como ajuste sobre los ingresos por centralización calculados inicialmente.

Por razones de confidencialidad, dado que el cálculo involucra montos de compra por proveedor y acuerdos comerciales, el detalle del mismo no se anexa al informe.

10.7. Flujo de Fondos

En esta sección se presentan los flujos de fondos correspondientes a las cuatro alternativas de operaciones propuestas.

La estructura que seguirán los flujos de fondos se compone de los siguientes elementos:

- **Ingresos gravados por impuestos:** Corresponden a los ingresos derivados del cobro por centralización de logística a los proveedores, detallados en la sección 10.6.
- **Egresos fijos gravados por impuestos:** Comprenden los costos relacionados al personal, mantenimiento y seguros, especificados en la sección 10.5. Estos egresos varían según la alternativa considerada, dado que están estrechamente vinculados con las operaciones internas del depósito.
- **Gastos no desembolsables:** Incluyen la depreciación asociada a cada alternativa, expuesta en la sección 10.4. Este componente depende directamente de las inversiones realizadas y, por consiguiente, varía según cada opción.
- **Impuesto a la Renta de las Actividades Económicas (IRAE):** Constituye un gravamen del 25% sobre las rentas empresariales en Uruguay, aplicable a todas las opciones evaluadas.
- **Inversión:** Cada flujo de fondos incluye la inversión específica requerida para cada alternativa. Se observa una inversión inicial importante en el año 0, la cual se detalla en la sección 10.3, seguida de desembolsos menores a lo largo del proyecto, asociados a las inversiones adicionales necesarias para satisfacer el crecimiento proyectado, como se explica en la sección 10.2.
- **Reemplazo de equipos:** Representa el desembolso monetario que se efectúa cuando los elementos materiales en los que se invirtió inicialmente alcanzan el final de su vida útil y deben ser reemplazados por nuevos. El cálculo de estos valores fue detallado en la sección 10.4.
- **Valor de recupero de activos fijos:** Corresponde al monto estimado que se prevé obtener mediante la venta o disposición de los bienes de capital (maquinaria, equipos, inmuebles, etc.) al culminar la vida útil del proyecto. La metodología de cálculo para este valor fue explicada en la sección 10.4

En la Tabla 47 se muestra el valor acumulado del flujo de fondos neto año a año, para cada una de las alternativas presentadas.

Tabla 47: Flujo de Fondos Neto Acumulado por Año por alternativa

Flujo de Fondos Acumulado por año según alternativa (USD)	Alternativa			
	Año	Manual	Híbrida (-)	Híbrida (+)
0	-\$ 1.884.563	-\$ 4.421.704	-\$ 5.430.330	-\$6.444.945
1	-\$ 1.558.216	-\$ 3.694.315	-\$ 4.626.316	-\$5.375.437
2	-\$ 1.211.792	-\$ 2.911.264	-\$ 3.726.705	-\$4.194.022
3	-\$ 1.119.870	-\$ 2.365.545	-\$3.011.826	-\$3.178.675
4	-\$ 724.444	-\$ 1.460.232	-\$1.963.399	-\$1.821.033
5	-\$ 345.477	-\$ 563.018	-\$875.758	-\$407.569
6	-\$ 178.826	\$ 182.213	\$81.136	\$893.330
7	\$ 264.081	\$ 1.232.812	\$1.274.375	\$2.441.847
8	\$ 729.096	\$ 2.358.178	\$2.637.001	\$4.183.249
9	\$ 989.482	\$ 3.349.190	\$3.860.157	\$5.806.539
10	\$ 3.136.376	\$ 7.841.035	\$8.930.864	\$11.453.576

El detalle completo de los flujos de fondos se encuentra en el Anexo electrónico 11 “Análisis económico y financiero. xls”.

A partir de la tabla anterior, se observa que a medida que aumenta el grado de automatización, las ganancias acumuladas al año 10 son mayores. Esto se debe principalmente a la reducción de los egresos, especialmente aquellos asociados a la mano de obra. La implementación de sistemas automáticos disminuye la necesidad de soporte humano, lo que resulta en menores salarios como egresos en el flujo de fondos, reduciendo considerablemente los costos operativos.

Cabe destacar que esta disminución en los egresos supera incluso el incremento de inversión necesario para adquirir mayor cantidad de maquinaria y equipos más avanzados. En particular, el paso de la operación manual a la alternativa Híbrida (-) genera un salto sustancial en el flujo, debido a la reducción de personal mediante la incorporación de un sorter para el proceso de cross-docking y de AMRs para el picking unitario.

Finalmente, la opción automática es la que presenta el mejor desempeño financiero, alcanzando los mayores beneficios acumulados al cierre del año 10.

10.8. Financiamiento

Otro de los aspectos fundamentales a evaluar en un proyecto de inversión es la determinación de la fuente de financiamiento óptima, es decir, si los recursos provienen exclusivamente de capital propio o si es más adecuado recurrir a financiamiento externo. Para ello, resulta imprescindible analizar ambas alternativas y elaborar los flujos de fondos correspondientes, con y sin financiamiento, a fin de seleccionar la opción que mejor se adapte a los objetivos y posibilidades de la organización.

Tras consultar a la empresa, se estableció que esta dispondrá de 250.000 USD de capital propio para la inversión inicial. El monto restante necesario para la inversión inicial durante el primer periodo (año 0) será financiado mediante un préstamo bancario. Adicionalmente, se acordó que todas las inversiones de años posteriores serán cubiertas con recursos propios. En la Tabla 48 se presenta un resumen de montos de capital propio y de monto de financiamiento para el año 0 para las 4 alternativas estudiadas.

Tabla 48: Inversión propia y financiamiento por alternativa (USD).

Alternativa	Inversión Total Año 0 (USD)	Capital Propio (USD)	Monto a Financiar (USD)
Manual	\$1.884.563	\$250.000	\$1.634.563
Híbrida (-)	\$4.421.704	\$250.000	\$4.171.704
Híbrida (+)	\$ 5.430.330	\$250.000	\$ 5.180.330
Automática	\$ 6.444.945	\$250.000	\$ 6.194.945

Como era de esperarse, a mayor grado de automatización, mayor es la inversión inicial requerida, lo que a su vez incrementa el monto del préstamo necesario. Esto tiene un impacto directo en el valor de las cuotas, el período de repago y los intereses generados.

Para las alternativas que implican un mayor nivel de endeudamiento (Automática e Híbridas), se consideró un plazo de 10 años con el objetivo de que la deuda se cancele dentro del horizonte del proyecto. En el caso de la alternativa manual, dado que el financiamiento requerido es significativamente menor, se estableció un período de repago más corto, de 7 años.

Las cuotas se calcularon utilizando el sistema francés. Para el cálculo de los valores se consideraron el monto solicitado, el período de repago y la tasa de interés vigente, tomando como referencia la publicada por el Banco Central del Uruguay (BCU) para grandes empresas en USD con plazos superiores a un año [79]. En la Tabla 49 se presenta el resultado obtenido para las cuotas mensuales según la alternativa. Para un mayor detalle del cálculo consultar el Anexo electrónico 11 “Análisis económico y financiero. xls”.

Tabla 49: Período de repago del préstamo y cuota anual por alternativa.

Alternativa	Período de Repago (años)	Cuota Anual (USD)
Manual	7	\$ 286.697
Híbrida (-)	10	\$ 551.064
Híbrida (+)	10	\$ 684.228
Automática	10	\$818.325

Estos valores serán incorporados en el análisis del flujo de fondos con financiamiento, presentado en la sección siguiente.

10.9. Flujo de fondos con Financiamiento

El flujo de fondos con financiamiento mantiene la misma estructura presentada en la sección 10.7. Sin embargo, en este caso se incorporan dos elementos adicionales que deben ser considerados.

En primer lugar, el Impuesto a la Renta de las Actividades Económicas (IRAE) incluye los intereses generados por las cuotas del préstamo solicitado. Además, se incorpora el ingreso del préstamo en el año 0, así como los pagos de las cuotas a lo largo de la duración del proyecto reflejando el compromiso financiero asumido para la devolución del préstamo.

En la Tabla 50, se presenta el flujo de fondos neto acumulado considerando el financiamiento externo para cada una de las alternativas.

Tabla 50: Flujo de Fondos Neto Acumulado con Financiamiento por alternativa.

Flujo de Fondos Acumulado por año según alternativa (USD)	Alternativa				
	Año	Manual	Híbrida (-)	Híbrida (+)	Automática
0	-\$250.000	-\$250.000	-\$250.000	-\$250.000	-\$250.000
1	-\$188.242	-\$17.253	-\$139.356	\$84.970	\$84.970
2	-\$109.089	\$266.756	\$57.138	\$525.310	\$525.310
3	-\$287.264	\$308.794	\$58.627	\$792.696	\$792.696
4	-\$164.915	\$705.536	\$382.835	\$1.395.114	\$1.395.114
5	-\$62.165	\$1.089.025	\$734.844	\$2.045.701	\$2.045.701
6	-\$175.043	\$1.315.098	\$944.071	\$2.575.655	\$2.575.655
7	-\$15.153	\$1.840.812	\$1.376.961	\$3.344.721	\$3.344.721
8	\$449.862	\$2.435.255	\$1.965.868	\$4.297.708	\$4.297.708
9	\$710.248	\$2.888.981	\$2.401.213	\$5.123.134	\$5.123.134
10	\$2.857.141	\$6.836.833	\$6.669.254	\$9.962.345	\$9.962.345

Como era de esperarse, los beneficios obtenidos en este escenario son menores en comparación con el flujo de fondos elaborado exclusivamente con capital propio, presentado en la Tabla 47. Esto se debe al impacto de los intereses generados por el financiamiento externo.

Sin embargo, la diferencia en el flujo neto acumulado al año 10 entre ambas modalidades de financiamiento no es tan significativa, como se evidencia en la siguiente Tabla 51.

Tabla 51: Comparación por alternativa del Flujo Neto Acumulado al Año 10

Alternativa	Capital Propio Únicamente (USD)	Con Financiamiento Externo (USD)	Diferencia (USD)
Manual	\$3.136.376	\$2.857.141	-\$279.235
Híbrida (-)	\$7.841.035	\$6.836.833	-\$1.004.202
Híbrida (+)	\$8.930.864	\$6.669.254	-\$2.261.610
Automática	\$11.453.576	\$9.962.345	-\$1.491.231

Si bien el financiamiento externo reduce los beneficios netos debido al pago de intereses, presenta ciertas ventajas estratégicas para la empresa, como la posibilidad de mantener liquidez operativa, diversificar el riesgo financiero, acelerar la implementación del proyecto sin comprometer la totalidad del capital propio, y aprovechar el costo de oportunidad al poder destinar los recursos propios a otras inversiones potencialmente más rentables.

En ambos escenarios de financiamiento propio o externo, la alternativa automática sigue siendo la opción que genera mayores beneficios al final del período de análisis.

10.10. Métodos de evaluación

Una vez calculados los cuatro flujos de fondos posibles, con y sin financiamiento externo, se determinaron diversos indicadores clave para evaluar las distintas alternativas y brindar insumos para la toma de decisiones del proyecto.

Los resultados para los métodos de evaluación calculados se presentan en la Tabla 52.

Tabla 52: Comparación de métodos de evaluación por alternativa.

Alternativa	Manual	Híbrida (-)	Híbrida (+)	Automática
Sin financiamiento				
Período de Recuperación de la Inversión (años)	7	6	6	6
Período de Recuperación de la Inversión Descontado (años)	8	7	8	7
Valor Actual Neto (USD)	\$1.461.941	\$3.832.100	\$4.250.765	\$5.753.198
Tasa Interna de Retorno	16,37%	17,68%	16,71%	18,42%
Con financiamiento				
Período de Recuperación de la Inversión (años)	8	2	2	1
Período de Recuperación de la Inversión Descontado (años)	8	2	2	1
Valor Actual Neto (USD)	\$1.574.255	\$4.213.441	\$3.996.168	\$6.319.485
Tasa Interna de Retorno	34,54%	97,91%	69,91%	149,14%

Los valores obtenidos permiten concluir que todas las alternativas evaluadas son viables desde el punto de vista económico, dado que los períodos de recuperación de la inversión son menores al horizonte del proyecto, el VAN es significativamente mayor a cero en todos los casos y la TIR supera con amplitud la tasa de descuento estimada. En consecuencia, todas las opciones generan beneficios sobre la inversión inicial.

En el análisis sin financiamiento, se observa que las tres alternativas que incorporan automatización (Híbrida (-), Híbrida (+) y Automática) presentan un menor Período de Recuperación de la Inversión (PRI) en comparación con la opción Manual. En cuanto al Período de Recuperación de la Inversión Descontado (PRID), requieren 7 u 8 años para lograr el recupero de la inversión.

Respecto al Valor Actual Neto (VAN), la alternativa Automática obtiene el mayor valor (\$5.753.198), lo que indica que es la opción que genera mayor rentabilidad sobre la inversión inicial. Las alternativas Híbrida (-) e Híbrida (+) presentan valores inferiores, aunque igualmente elevados, mientras que la opción Manual es la que refleja el menor VAN. En términos de Tasa Interna de Retorno (TIR), la alternativa Automática nuevamente se destaca con un 18.42%, seguida por las opciones híbridas, mientras que la opción Manual es la que presenta el menor valor.

Al analizar los resultados considerando financiamiento, se observa una reducción significativa en los tiempos de recuperación de la inversión descontado para las opciones más automatizadas. En este caso, la alternativa Automática logra recuperar la inversión total en 1 año, mientras que la opción Manual requiere 8 años. Las alternativas Híbrida (-) e Híbrida (+) muestran una notable reducción del PRID respecto, pasando de 7 y 8 años respectivamente a 2 años en el caso de financiar.

En lo que respecta al Valor Actual Neto (VAN), la alternativa Automática sigue siendo la más rentable, alcanzando \$6.319.485 dólares americanos, seguida de Híbrida (-) e Híbrida (+). Este orden se explica porque la alternativa Híbrida (-) requiere una menor inversión en tecnología, aunque implica mayores costos operativos debido a una mayor dotación de personal. En cambio, la Híbrida (+) reduce la necesidad de mano de obra, pero demanda una inversión inicial significativamente mayor. Entre ambas alternativas híbridas se alcanza un punto de equilibrio entre inversión y costos operativos, lo que explica el VAN más favorable de la alternativa Híbrida (-) frente a Híbrida (+). La alternativa Manual nuevamente presenta el menor VAN, aunque sigue siendo positivo, lo que indica viabilidad económica.

El financiamiento permite adelantar el flujo de caja disponible y acelerar la generación de ingresos. Por esta razón, las alternativas que incluyen automatización y requieren mayores inversiones se benefician en términos de un menor tiempo de recuperación, en comparación con la opción de no utilizar financiamiento.

Sin bien para tomar una decisión fundamentada sobre si financiar o no se deben considerar otros factores, como el riesgo asociado al endeudamiento, la capacidad de pago y la estabilidad del flujo de ingresos proyectado, desde una perspectiva estrictamente financiera, la opción con financiamiento es preferible.

10.11. Análisis de Sensibilidad

Este análisis tiene como objetivo evaluar la sensibilidad de los resultados ante variaciones en ciertos supuestos del proyecto. Para ello, se modificaron distintos parámetros y se registraron sus efectos en los resultados.

Los parámetros a perturbar son los siguientes: costo empresarial por funcionario, ingresos por centralización, monto de capital propio aportado para la inversión inicial y la tasa de descuento seleccionada. El impacto de estas variaciones se evaluará a través del VAN.

Es importante señalar que los resultados reflejan los cálculos basados en el flujo de fondos con financiamiento, ya que financiar el proyecto ofrece una ventaja financiera significativa frente a la opción de no hacerlo.

10.11.1. Variaciones en el costo empresa anual de los funcionarios

En primer lugar, se evaluó cómo afectan cambios en el costo empresa anual de los funcionarios ya que este valor incide directamente en los egresos, afectando el flujo de fondos. Para ello, se analizó el impacto de aumentar y disminuir de a 1.000 dólares el costo empresarial anual por empleado, con el fin de determinar cómo varía el VAN en cada escenario. Este análisis permite identificar si, en determinadas condiciones, las opciones que requieren mayor cantidad de personal podrían volverse más o menos atractivas en comparación con aquellas que demandan una menor cantidad. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 53.

Tabla 53: Análisis de sensibilidad de costo empresa anual de los funcionarios.

Costo empresa anual (USD)	16.000	17.000	18.000	19.000	20.000
	-11%	-6%	0%	6%	11%
Alternativa	VAN (USD)				
Manual	\$4.812.703	\$3.193.479	\$1.574.255	-\$44.968	-\$1.664.192
Híbrida (-)	\$6.906.835	\$5.560.138	\$4.213.441	\$2.866.744	\$1.520.047
Híbrida (+)	\$6.504.775	\$5.250.471	\$3.996.168	\$2.741.865	\$1.487.561
Automática	\$8.655.013	\$7.487.249	\$6.319.485	\$5.151.721	\$3.983.957

Se observa que, aun cuando el costo empresarial se reduce o incrementa en un 11 %, el VAN conserva el mismo orden de preferencia entre las alternativas. Sin embargo, en el caso de un incremento del costo empresarial en 1.000 dólares adicionales, la opción manual deja de ser viable, lo que sugiere que esta alternativa es altamente sensible a variaciones en los costos laborales. En contraste, las opciones híbridas y la alternativa automática continúan mostrando valores positivos de VAN.

Estos resultados evidencian que el modelo manual es considerablemente más sensible a modificaciones en los costos laborales, lo que refuerza la ventaja de las opciones con mayor grado de automatización en términos de estabilidad financiera. En consecuencia, este análisis lleva a desestimar la opción manual.

10.11.2. Variaciones en el ingreso

Otro aspecto que puede impactar significativamente en los resultados del proyecto es la variación en los ingresos por centralización de proveedores.

El análisis inicial se basa en el supuesto de que será posible centralizar la totalidad de los proveedores y que los ingresos crecerán de manera lineal junto con la empresa. Sin embargo, resulta relevante evaluar cómo una reducción en estos ingresos podría afectar

los resultados. Esta disminución podría darse en caso de no lograr la centralización total de los proveedores o si la demanda proyectada se reduce, lo que implicaría una menor compra de productos y, en consecuencia, una menor tasa de ingresos por centralización.

Para evaluar el impacto de este factor, se decidió realizar un análisis de sensibilidad variando el porcentaje de ingresos por proveedores centralizados en intervalos de 5 puntos porcentuales, dentro de un rango de entre el 85 % y el 100%. Los resultados obtenidos para el análisis de sensibilidad se presentan en la Tabla 54.

Tabla 54: Análisis de sensibilidad de ingresos por centralización.

Ingresos por centralización	85%	90%	95%	100%
Alternativa	VAN (USD)			
Manual	-\$3.427.545	-\$1.760.278	-\$93.012	\$1.574.255
Híbrida (-)	-\$788.360	\$878.907	\$2.546.174	\$4.213.441
Híbrida (+)	-\$1.005.633	\$661.634	\$2.328.901	\$3.996.168
Automática	\$1.317.684	\$2.984.951	\$4.652.218	\$6.319.485

Los resultados obtenidos reflejan una alta sensibilidad del VAN ante variaciones en los ingresos. Específicamente, una reducción del 5 % en los ingresos provoca que la opción manual obtenga un VAN negativo, lo que llevaría a su rechazo. Asimismo, con una reducción del 15 %, también las opciones híbridas dejan de ser viables. La única alternativa que mantiene un margen de rentabilidad favorable en todos los escenarios evaluados es la opción automática.

Si bien los resultados obtenidos indicarían desde una perspectiva estrictamente financiera, que se debería desestimar las opciones híbridas, este análisis presenta una diferencia fundamental respecto del realizado sobre la variación en el costo empresarial. En este caso, la empresa cuenta con estrategias para mitigar el impacto, como la renegociación de tasas con los proveedores o, si la reducción de la demanda implica una menor infraestructura operativa, la posibilidad de ajustar los egresos reduciendo recursos. Estas acciones podrían mejorar los flujos de fondos y, en consecuencia, el VAN.

Por lo tanto, aunque el riesgo asociado a la variabilidad de este factor es considerable, su impacto no puede evaluarse de manera determinista, ya que existen medidas para contrarrestarlo.

10.11.3. Variaciones en el capital propio aportado para la inversión inicial

En el análisis del financiamiento del proyecto, se parte del supuesto de que la empresa aportará una determinada cantidad de capital propio para la inversión inicial al momento de definir la estructura financiera. Esta decisión impacta directamente en el monto total del préstamo requerido y, en consecuencia, en las cuotas de pago y en el efecto de los intereses. No solo se busca validar la viabilidad de la opción de financiamiento, sino también determinar cuál sería el monto óptimo de capital propio a aportar en función de los beneficios económicos del proyecto.

Para el análisis, se estableció inicialmente un aporte de capital propio de 250.000 dólares, financiando el resto del proyecto con deuda. Posteriormente, este valor se

modificó en incrementos de 250.000 dólares y, en el caso de la reducción del capital propio, se disminuyó hasta un mínimo de 10.000 dólares, con el objetivo de evaluar un escenario extremo y observar el comportamiento del proyecto con una inversión mínima de fondos propios.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 55, se observa que el VAN presenta variaciones poco significativas.

Tabla 55: Análisis de sensibilidad capital propio vs financiamiento

Capital propio vs financiamiento (USD)	10.000	250.000	500.000	750.000	1.000.000
	-96%	0%	100%	200%	300%
Alternativa	VAN (USD)				
Manual	\$1.590.746	\$1.574.255	\$1.557.077	\$1.539.899	\$1.522.721
Híbrida (-)	\$4.235.379	\$4.213.441	\$4.190.588	\$4.167.735	\$4.144.882
Híbrida (+)	\$4.190.342	\$3.996.168	\$3.793.903	\$3.591.638	\$3.389.373
Automática	\$6.341.423	\$6.319.485	\$6.296.632	\$6.273.779	\$6.250.926

En términos generales, el VAN disminuye levemente a medida que aumenta el capital propio, lo que indica que este parámetro no ejerce una incidencia relevante en la rentabilidad del proyecto. En este sentido, la determinación del capital propio a aportar dependerá de la capacidad para asumir deuda y de su disponibilidad de fondos para el desembolso inicial por parte de la empresa. Además, dado que todos los valores de VAN analizados resultan positivos, se concluye que cualquier opción de financiamiento dentro del rango estudiado es financieramente viable.

10.11.4. Variaciones en la tasa de descuento

El último parámetro modificado fue la tasa de descuento, la cual incide directamente en el cálculo del VAN. Como se mencionó al inicio, la tasa de descuento base fue estimada, por lo que resulta fundamental validar los resultados a partir de esta, observando el comportamiento de las alternativas ante distintos valores de dicha tasa en la Tabla 56.

Tabla 56: Análisis de sensibilidad de tasas de descuento

Tasa de descuento	4%	5%	6%	8%	10%
	-33%	-17%	0%	33%	67%
Alternativa	VAN (USD)				
Manual	\$1.918.589	\$1.737.855	\$1.574.255	\$1.291.543	\$1.058.474
Híbrida (-)	\$4.926.417	\$4.553.228	\$4.213.441	\$3.620.951	\$3.126.177
Híbrida (+)	\$4.719.670	\$4.340.628	\$3.996.168	\$3.397.280	\$2.899.221
Automática	\$7.315.322	\$6.794.734	\$6.319.485	\$5.487.494	\$4.788.909

El análisis de sensibilidad del VAN frente a variaciones en la tasa de descuento evidencia que, a medida que esta se incrementa, el VAN disminuye en todos los casos.

Esto se debe a que una tasa de descuento más elevada reduce el valor presente de los flujos de caja futuros, afectando así la rentabilidad del proyecto.

Entre las alternativas evaluadas, la alternativa Automática se posiciona como la más rentable en todos los escenarios, conservando el mayor VAN incluso con una tasa del 10 %. Las alternativas Híbrida (-) e Híbrida (+) presentan un comportamiento similar, con valores levemente superiores en el caso Híbrida (-). Por otro lado, la alternativa Manual es la opción con menor rentabilidad; no obstante, sigue siendo financieramente viable ya que su VAN se mantiene positivo en todas las tasas analizadas.

Este análisis confirma que un financiamiento con tasas de descuento más bajas favorece la rentabilidad del proyecto. Asimismo, se destaca que todas las opciones evaluadas son viables dentro del rango de tasas consideradas, aunque la Automática representa la alternativa más sólida en términos de rentabilidad.

11. Análisis de Indicadores de Productividad

En el marco del diseño de un nuevo centro de distribución, la definición de indicadores clave de rendimiento (KPIs) es un elemento fundamental para la evaluación objetiva y la toma de decisiones estratégicas. Se contemplarán tres métricas críticas que permitirán un análisis de la eficiencia operativa.

11.1. Bultos por Hora (Bultos/h)

Este indicador mide la capacidad de procesamiento, reflejando directamente la productividad total del sistema y su potencial de gestión de volúmenes de mercadería. En la actualidad, en la empresa se mide de forma semanal como el cociente entre la suma de los bultos que ingresan y egresan del centro y las horas totales trabajadas.

Para el cálculo del valor del indicador actual, la empresa brindó el dato de los bultos totales anuales (ingreso + egreso) del 2024 y el total de horas trabajadas para ambos centros de distribución, dando un valor de 36,8 bultos por hora. El detalle se presenta en la Tabla 57.

Tabla 57: Datos Actualidad Bultos por hora.

Actualidad	2024
Acumulado Bultos anuales (cajas anuales in + out)	10.277.231
Hora Hombre Acumulado anual	279.053
KPI (bulto/hr)	36,8

Para las cuatro alternativas propuestas, se consideraron los bultos diarios de la Tabla 7 (duplicados para incluir tanto ingreso como egreso) y la cantidad de horas hombre requeridas, las cuales varían según cada alternativa. Estas horas se calcularon a partir de los FTE necesarios por cada configuración. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 58.

Tabla 58: Bultos por hora por alternativa

Alternativa	KPI: Bultos por hora	Año 5
Manual	Bultos (cajas diarias in + out)	94.365
	Horas Hombre (diarias)	2.449
	KPI	38,52
	Incremento VS actual	4,6%
Híbrida (-)	Bultos	94.365
	Horas Hombre (diarias)	2037
	KPI	46,32
	Incremento VS actual	25,8%
Híbrida (+)	Bultos	94.365
	Horas Hombre (diarias)	1.897
	KPI	49,73
	Incremento VS actual	35,0%
Automática	Bultos	94.365
	Horas Hombre (diarias)	1.766
	KPI	53,41
	Incremento VS actual	45,0%

Como se observa en la tabla anterior, aunque la opción Manual mejora su productividad con la implementación del cross-docking, el incremento logrado es poco significativo en comparación con la situación actual.

En contraste, las alternativas con mayor automatización sí presentan mejoras sustanciales en productividad que aumentan a medida que se incrementa el nivel de automatización. Sin embargo, un aspecto clave a considerar es que, como se detalló previamente, aproximadamente el 65% del volumen del centro de distribución corresponde a mercadería de stock en caja master en todos los casos. El análisis de automatización para este proceso manual quedó fuera del alcance del estudio, pero representa una operación intensiva en mano de obra, con una gran cantidad de funcionarios involucrados. Esta base de trabajadores se mantiene constante en todas las configuraciones analizadas, lo que limita el crecimiento del indicador de productividad total.

11.2. Ratio Costo por Bulto

Este es un indicador financiero que permite evaluar la eficiencia económica del centro, identificando el costo que conlleva procesar cada unidad de carga. Hoy en día este indicador se calcula como el cociente entre la suma de todos los costos logísticos y la suma de bultos que ingresan y egresan a las sucursales. El costo logístico total, se

compone de 3 variables: el costo en personas, el costo de transporte y el costo administrativo/operativo.

Como el alcance de este proyecto no abarca la gestión de la distribución a los locales, para poder comparar con el sistema propuesto se consideró únicamente la mano de obra y lo administrativo/operativo. El KPI se ve en la Tabla 59.

Tabla 59: Datos actualidad Ratio costos por bulto.

Actualidad	2024
Bultos (anual in + out)	10.277.231
Costo Logístico anual (USD) (sin considerar transporte)	3.277.661
KPI (USD/Bulto)	0,32

Para las alternativas propuestas, se calcularon los bultos anuales a mover y se duplicaron por lo explicado anteriormente. En cuanto al costo logístico, como el proyecto no considera el costo de los fletes, se tomó el egreso total del año 5 de cada alternativa, que proviene del Anexo electrónico 11 “Análisis económico y financiero. xls”. En la Tabla 60 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 60: Ratio costo por bulto por alternativa.

Alternativa	KPI: Costo logístico por bulto movido	Año 5
Manual	Bultos (anual in + out)	29.442.102
	Costo Logístico anual (USD)	5.310.093
	KPI (USD/bulto)	0,18
	vs actual	-43,4%
Híbrida (-)	Bultos (anual in + out)	29.442.102
	Costo Logístico anual (USD)	4.574.762
	KPI (USD/bulto)	0,16
	vs actual	-51,3%
Híbrida (+)	Bultos (anual in + out)	29.442.102
	Costo Logístico anual (USD)	4.332.388
	KPI (USD/bulto)	0,15
	vs actual	-53,9%
Automática	Bultos (anual in + out)	29.442.102
	Costo Logístico anual (USD)	4.108.470
	KPI (USD/bulto)	0,14
	vs actual	-56,2%

Como se puede observar en la tabla, en la actualidad el dólar por bulto es de 0.32. Con el sistema propuesto, las alternativas con automatizaciones logran reducir este valor a más de la mitad, mostrando que no solo es una solución más productiva, sino que también más económica si ponderamos por el volumen de mercadería.

12. Conclusiones

El presente estudio logró alcanzar el objetivo de analizar, dimensionar y diseñar un sistema que integre automatismos y tecnologías avanzadas para optimizar las operaciones en un nuevo Centro de Distribución. Se evaluaron distintas alternativas, todas las cuales mostraron reducciones en los costos operativos respecto a los sistemas actuales y mejoras en los indicadores clave de desempeño. Además, se incorporaron nuevas operaciones como el cross-docking y el picking unitario, alineándose con los objetivos estratégicos de la contraparte.

Desde una perspectiva económica y financiera, la alternativa con mayor rentabilidad según los métodos de evaluación (VAN y TIR) es la alternativa Automática. Sin embargo, su implementación presenta desafíos significativos debido a la necesidad de coordinar múltiples sistemas tecnológicos de distintos proveedores, algunos de los cuales no están plenamente consolidados en el país. Aunque esta alternativa es la más eficiente en términos financieros, su alto nivel de complejidad operativa dificulta su ejecución a corto plazo. Debido a que la alternativa Híbrida (+) comparte muchas de estas tecnologías, enfrenta desafíos similares, por lo que las conclusiones anteriores también aplican a esta alternativa. A su vez, ambas implican un salto significativo respecto a la situación actual, lo cual no siempre constituye el enfoque más recomendable al abordar una transformación que afecta diversos aspectos de una organización.

Por otro lado, la alternativa Manual, aunque mejora los actuales indicadores de productividad y permite la implementación de cross-docking y picking unitario, no está alineada con las tendencias tecnológicas actuales ni con la visión estratégica de la empresa. Además, su alta dependencia de la mano de obra la hace especialmente vulnerable a variaciones en los costos laborales. En un contexto de inversión en infraestructura para un nuevo centro de distribución, resulta más conveniente optar por soluciones innovadoras que aprovechen los avances tecnológicos y reduzcan la exposición a factores externos.

En este sentido, se concluye que la alternativa Híbrida (-) es la mejor opción de implementación para la empresa. Si bien su rentabilidad es inferior a la de la alternativa automatizada, al considerar el financiamiento, presenta el segundo mejor VAN y TIR. Además, ofrece un equilibrio óptimo entre eficiencia económica y viabilidad de implementación. Esta opción incorpora tecnologías clave como el sorter, put to light y sistemas AMR para transporte y picking, lo que permite modernizar significativamente los procesos logísticos internos sin los riesgos asociados a una automatización total.

Otro aspecto clave identificado en el proyecto es que la automatización no implica la eliminación total de la intervención humana. Existen tareas en las que la destreza y el criterio humano siguen siendo difíciles de replicar mediante automatismos, por lo que la combinación de tecnología con una gestión eficiente del talento humano será fundamental para el éxito del proyecto.

También resulta relevante considerar que dadas las características del proyecto, este podría acceder a incentivos fiscales o apoyos financieros por parte de organismos como ANII o COMAP, lo que contribuiría a mejorar la rentabilidad y viabilidad económica de la inversión.

Finalmente, se recomienda que la empresa continúe evaluando periódicamente sus métodos de abastecimiento y clasificación de productos, con revisiones semestrales o

anuales. Además, futuras investigaciones podrían enfocarse en analizar el impacto financiero de la reducción del costo de inventario gracias al picking unitario, en la automatización del almacenamiento de productos en stock en cajas master y en la posible expansión del sistema para la gestión de productos refrigerados y congelados.

En conclusión, el estudio demuestra la viabilidad económica de la inversión en tecnologías avanzadas para la logística, enfatizando la importancia de encontrar un equilibrio entre rentabilidad, operatividad y capacidad de implementación.

13. Bibliografía

- [1] Calatayud, A., y Katz, R. (2019). *Cadena de suministro 4.0: Mejores prácticas internacionales y hoja de ruta para América Latina*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0001956>
- [2] Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). (2013). *Supply Chain Management Definitions and Glossary*. CSCMP. https://cscmp.org/CSCMP/cscmp/educate/scm_definitions_and_glossary_of_terms.aspx
- [3] Delgado, T y Lopes, I. *Generalidades y tendencias de automatización para almacenes*. (s.f). Universidad Tecnológica de La Habana. https://www.researchgate.net/profile/Tatiana-Delgado-Fernandez/publication/355360349_Generalidades_y_tendencias_de_automatizacion_para_almacenes/links/616c2254039ba26844541bca/Generalidades-y-tendencias-de-automatizacion-para-almacenes.pdf
- [4] Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. Pearson Educación.
- [5] Kłodawski, M., Lewczuk, K., Jacyna-Gołda, I., & Żak, J. (2017). *Decision making strategies for warehouse operations*. Archives of Transport. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0009.7384>
- [6] Pereira, H. (2024, 7 de Junio). *Importancia de la Logística en Retail*. Artículo KAIZENTM. <https://kaizen.com/es/insights-es/importancia-logistica-retail/>
- [7] de Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). *Design and control of warehouse order picking: A literature review*. Erasmus Research Institute of Management (ERIM). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- [8] Toyota Forklifts. (s.f.). *¿Qué es el cross-docking? Cómo funciona y tipos*. Recuperado el 21 de Marzo de 2025, de <https://blog.toyota-forklifts.es/cross-docking-que-es-tipos>
- [9] Kulwiec, R. (2004). *Cross-docking as a supply chain strategy*. *Target*, 20(3), 28-35. https://www.ame.org/sites/default/files/target_articles/04-20-3-Cross-docking.pdf
- [10] Camps, A. (2021, 13 de Octubre). *Cross-Docking: ¿Qué es y por qué deberías aplicarlo en logística?* Bytemaster. <https://www.bytemaster.es/logistica/cross-docking-logistica/>
- [11] Nasiriyani, S. (2021). *Cross-docking vs. Traditional Warehousing: Small-Sample Data Augmentation to Assess Product Suitability* (Tesis de Master, Universidad de Waterloo).
- [12] Wen, N., Graves, S. C., & Ren, Z. J. (2012). *Ship-pack optimization in a two-echelon distribution system*. *European Journal of Operational Research*, 220(3), pag. 777-785.
- [13] Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (1997). *Introducción a la investigación de operaciones*, pág. 772-843

- [14] Mas, D. (2022, 25 de Julio). *PDA para almacén: Cómo benefician a mi almacén*. AcaciaTec. <https://acaciatec.com/pda-para-almacen-beneficios/>
- [15] Mecalux. (s.f.). *Los PLC en logística, primer paso hacia la automatización del depósito*. Mecalux.Com.Uy. Recuperado 21 de Marzo 2025, de <https://www.mecalux.com.uy/blog/plc-controlador-logico-programable-logistica>
- [16] *PDA zebra MC9400*. (2024, 22 de Julio). STG Latam. <https://www.stglatam.com/producto/pda-zebra-mc9400/>
- [17] Mennings, R. (2025, 18 de Febrero). *7 advantages of cobots! Why choose collaborative robots?* WiredWorkers. <https://www.wiredworkers.io/blog/advantages-of-cobots/?srsltid=AfmBOop8rUEQZ84G60lM8N1yNhu13WurmX8Vg007TyAUUYIjoBG2T9UA>
- [18] *Cobots: Nueva tecnología para logística*. (s.f.). Logistica Flexible. Recuperado 21 de Marzo 2025, de <https://ld.com.mx/blog/noticias/cobots/>
- [19] Universal Robots. (s.f.). *UR20 robot*. Universal Robots. Recuperado 21 de Marzo 2025, de <https://www.universal-robots.com/es/productos/ur20-robot/>
- [20] Sicma21. (2021, 25 de Octubre). *Robots industriales: Qué son, cómo funcionan y sus tipos*. SICMA21. <https://www.sicma21.com/robots-industriales-tecnologia-y-aplicaciones/>
- [21] *What are collaborative robots (cobots)?* (s.f.). ESAB. Recuperado 21 de Marzo 2025, de https://esab.com/us/nam_en/esab-university/articles/what-are-collaborative-robots-cobots/
- [22] Fragapane, G., de Koster, R., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2021). *Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and research agenda*. European Journal of Operational Research, 294(2), 405–426.
- [23] Arilla, S. (2023, 24 de Enero). *Qué es un sorter o clasificador de almacén*. SCM Logística Barcelona. <https://www.scmlogistica.es/que-es-un-sorter-o-clasificador-de-almacen/>
- [24] *Sliding Shoe Sorter*. (s.f) APOLLO. Recuperado 21 de Marzo 2025, de <https://www.sz-apollo.com/uploads/Sliding-Shoe-Sorter-Brochure.pdf>
- [25] INNOCV SOLUTIONS. (s.f.). *Tipos de sorters o clasificadores* INNOCV SOLUTIONS. Recuperado 21 de Marzo 2025, de <https://www.innocv.com/web/noticias/tipos-de-sorters-clasificadores-mercancia>
- [26] MotionMiners process intelligence. (s.f.). *BG Sorter ET*. MPI. Recuperado 21 de Marzo 2025, de <https://mpi.motionminers.com/en/offerings/beumer-bg-sorter-et-sorter-logistics>
- [27] Galiana, J. M. (2024, 20 de diciembre) *¿Qué es la Logística? Definición, Componentes y su Rol en la Cadena de Suministro*. Toyota Blog. <https://blog.toyota-forklifts.es/que-es-logistica-definicion-conceptos>

- [28] *Recommending article: 14 kinds of automatic sorting system GIF demonstration.* (2021, 7 de Julio). ETOWN. <http://www.etowntech.cn/news/6/128>
- [29] Torres, M. M. (2013). *Sistema de almacenaje y picking*. Ediciones Díaz de Santos.
- [30] *Diseño y Layout de Almacenes y Centros de Distribución.* (s.f.). *Logística y Abastecimiento*. Recuperado 21 de Marzo 2025, de <https://logisticayabastecimiento.jimdofree.com/almacenamiento/dise%C3%B1o-y-layout-de-almacenes-y-centros-de-distribuci%C3%B3n/>
- [31] Logística y Cadena de Suministro. (2021, 26 de agosto). *Cálculo para el número de puertas o muelles* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=BnZPRwt1fPA>
- [32] *CARTI 100.* (s.f.) Bear Robotics. Recuperado 21 de Marzo 2025, de <https://jp.bearrobotics.ai/carti>
- [33] *Despalletizacion.* (s.f.). Photoneo. Recuperado 12 de Octubre 2024, de <https://www.photoneo.com/es/depalletization/>
- [34] Smartlog Group. (2024, 1 de Julio). *Smartlog Group - Smartsorter (N)* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=JrMYgbl1QaU>
- [35] *Sistemas de clasificación en almacén.* (2023, 3 de Noviembre). Smartlog Group. <https://smartlog-group.com/automatizacion-almacenes/sistemas-clasificacion/>
- [36] *Amplia gama de productos igus® en Brightpick Autopickers.* (s.f.). igus Motion plastics. Recuperado el 22 de Marzo 2025, de <https://www.igus.es/info/application-brightpick>
- [37] *Micro Micro Fulfillment center* (s.f.). Brightpick. Recuperado el 3 de Febrero 2025, de <https://brightpick.ai/mfc/>
- [38] Brightpick. (2023, 15 de septiembre). *Demo of AI robots for order picking (fully automated warehouse).* [Video] YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=XWlQWgRfh6c>
- [39] *Spot Arm.* (s.f.). Boston Dynamics. Recuperado 12 de Octubre 2024, de <https://support.bostondynamics.com/s/spot/spot-arm>
- [40] Baldon, J. L., Gerente de ventas de Latinoamérica de Vanderlande. (2024, 24 de Septiembre). Correo electrónico.
- [41] Alisvkevich, M, Socio Director de Smartlog UY. (2024, 7 de noviembre). Llamada telefónica.
- [42] *Picking manual.* (s.f.) Mecalux. Recuperado 22 de Marzo 2025, de <https://www.mecalux.com.uy/estanterias-metalicas/picking-manual>
- [43] *Catálogo general de productos.* (s.f.). Mecalux Uruguay. Recuperado 22 de Marzo 2025, de https://mecaluxuy.cdnwm.com/documents/20128/3375570/Catalog+-+0+-+Catalogo-general-de-productos+-+es_UY.pdf/7801ea95-8922-0489-074c-cb8c1a620209?t=1703754146562

- [44] *Zebra acquires maker of Brightpick warehouse robots.* (2024, 30 de Diciembre). DC Velocity. <https://www.dcvelocity.com/material-handling/order-fulfillment-packing/robotic-picking-and-loading/zebra-acquires-maker-of-brightpick-warehouse-robots>
- [45] *Order picking.* (s.f.). Brightpick. Recuperado el 22 de Noviembre 2024, de <https://brightpick.ai/order-picking/>
- [46] *An exclusive look at the world's most advanced fulfillment robot.* (2023, 1 de Diciembre). Brightpick. <https://brightpick.ai/videos/virtual-demo-of-autopicker/>
- [47] *Andenes de carga y descarga.* (s.f.). Alapont Global Chile. Recuperado el 22 de Marzo 2025, de <https://alapont-global.cl/andenes-de-carga/>
- [48] 4Front Engineered Solutions, Inc. (2000). *Diseño moderno de andén.* Kelley.
- [49] Crown Equipment Corporation. (s.f.). *Carretilla retráctil ESR 5200: Especificaciones.* Crown. Recuperado el 15 de Enero 2025, de <https://www.crown.com/dam/crown/pdfs/es-es/especificaciones/carretilla-retractil-esr5200-especificaciones-Es.pdf>
- [50] Mecalux. (s.f.). *El ancho y alto de los pasillos para los autoelevadores.* Recuperado el 7 de Diciembre 2024, de <https://www.mecalux.com.uy/manual-logistico-almacenaje/disen-de-depositos/anco-pasillos>
- [51] *Frequently Asked Questions.* (s.f.). Brightpick. Recuperado el 6 de Octubre 2024, de <https://brightpick.ai/faq/>
- [52] *Racks selectivos.* (s.f.). Mecalux. Recuperado 22 de Marzo 2025, de <https://www.mecalux.com.uy/racks-para-pallets/racks-selectivos>
- [53] *Steel utility carts.* (s.f.). Uline. Recuperado 22 de Marzo 2025, de <https://es.uline.mx/Product/AdvSearchResult?keywords=steel%20utility%20carts&BrowseGroup=506&METHOD=BROWSE&SubGroups=3272&view=ALL>
- [54] *Estantes metálicos.* (s.f.). Induracks Perú. Recuperado 5 de Marzo 2025, de <https://induracksperu.com/estantes-metalicos/>
- [55] *Heavy duty distribution truck extra shelves 1150 x 750.* (s.f.). Acerax. Recuperado 5 de Marzo 2025, de <https://www.acerax.co.uk/racking-shelving/heavy-duty-distribution-truck-extra-shelves-1150-x-750-to-suit-dt903y-or-dt901y>
- [56] Warehouse Automation AI. (2020, 3 de Junio). *Pick to light.* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=gn4pNrZmpeA>
- [57] *GreyOrange* (s.f.). Expo 21XX. Recuperado 7 de Octubre 2024, de https://www.expo21xx.com/industrial-robots/22540_st3_collaborative_robots/default.htm
- [58] *Planilla de Presentismo* (2024, Octubre) de la empresa para ambos depósitos.

- [59] *Reporte de productividad* (2024, Octubre) por tarea generado a partir del WMS de la empresa.
- [60] *Reporte de productividad* (2024, Octubre) por tarea generado a partir del WMS de la empresa. Filtrando sección textiles, con metodología de picking unitario.
- [61] Ortelli, A. Gerente de logística de la empresa. (2024, Octubre). Informe de proyecto de investigación sobre implementación de cross-docking manual en depósitos.
- [62] Locus Robotics. (2022, 22 de febrero). *Warehouse automation and efficiency with Locus Bots*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Jp1w_HRRkdQ
- [63] BorealTech 4.0 a TRG Company. (2019). *Put-to-light en Tiendas Flores Chile*. [Video] YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=qRyqIEHulVI>
- [64] Locus Robotics. (s.f.). *Fleet Feet and Körber: Case study*. Locus Robotics. Recuperado 16 de Enero 2024, de <https://locusrobotics.com/wp-content/uploads/2024/08/Fleet-Feet-and-Korber-Case-Study.pdf>
- [65] Unanue, E., Director Comercial de Latinoamerica. (2024, 7 de octubre). Correo electrónico.
- [66] Ortelli, A. Gerente de logística de la empresa. Correo electrónico.
- [67] *Macinte assorting system put to light light strip picking pick to light system ptl*. (2025, 23 de marzo). Made-in-China.Com. <https://66505cce768c8516.en.made-in-china.com/product/1QRUujaPhCVw/China-Macinte-Assorting-System-Put-to-Light-Light-Strip-Picking-Pick-to-Light-System-Ptl.html>
- [68] Baldon, J. L., Gerente de ventas de Latinoamérica de Vanderlande. (2024, 25 de Septiembre). Correo electrónico.
- [69] *Gravity roller conveyor set*. (s.f). Ultimation. Recuperado 22 de enero 2025, de <https://www.ultimationinc.com/replacement-parts/buy-rs19/gravity-conveyor-set-18w-x-10l/>
- [70] MWPVL International. (s.f.). *Locus Robotics - Independent consultant review*. Recuperado 22 de enero 2025, de https://mwpvl.com/html/locus_robotics_-_independent_consultant_review.html#:~:text=With%20an%20all%20in%20price,out%20of%20the%20starting%20gates
- [71] EP Equipment. (s.f.). *XP15 autonomous mobile robot (AMR)*. EP Equipment. Recuperado 20 de enero 2025, de <https://ep-equipment.com/products/amr/xp15/>
- [72] Eugui, R., Ingeniero Comercial de Circular. (2024, 15 de noviembre). Llamada telefónica.
- [73] Alisykevich, M., Socio Director de Smartlog UY. (2024, 9 de noviembre). Llamada telefónica.
- [74] Segovia, K., Encargada Comercial de De Marco. (2025, 20 de enero). Correo electrónico con cotización.

- [75] Castro, P., Asesor de compras Corin. (2025, 20 de enero). Llamada telefónica.
- [76] Pronto Metal. (s.f.). *Prontokit modelo Prontorack liviano de 5 niveles*. Pronto Metal. Recuperado el 15 de enero de 2025, de https://prontometal.com.uy/producto/prontokit-modelo-prontorack-liviano-de-5-niveles/?gad_source=1&gclid=Cj0KCCQiAqL28BhCrARIsACYJvkc841DkuoiAbi0Uk2us-uS5z8TkAbSqAqlw9c5jcYind1B-RdfaUYcaAnJxEALw_wcB
- [77] SPC Group. (2022, 9 de febrero). *Los costos de mantenimiento y sus implicaciones en la industria*. SPC Group. <https://spcgroup.com.mx/los-costos-de-mantenimiento-y-sus-implicaciones-en-la-industria/#:~:text=En%20la%20industria%20en%20general,del%20precio%20total%20del%20producto>
- [78] Qviro. (2024, 2 de abril). *Cost of autonomous mobile robots*. Qviro. <https://qviro.com/blog/cost-of-autonomous-mobile-robots/>
- [79] Banco Central del Uruguay. (2024). *Tasas medias de interés*. Banco Central del Uruguay. <https://www.bcu.gub.uy/Servicios-Financieros-SSF/Tasas-Medias/tasas-medias-interes.pdf>

Anexo

1. Códigos de referencia - Layout Alternativa Manual

Código	Área Referenciada
1-R1	Andenes de recepción
1-R2	Zona de staging de recepción
1-E1	Andenes de expedición
1-E2	Zona de staging de expedición
1-A1	Oficina
1-A2	Zona de resolución de problemas
1-A3	Zona de valor agregado
1-A4	Staging de auditoría
1-A5	Andén de auditoría
1-A6	Almacenamiento de devoluciones
1-C1	Recepción de pallets IN para cross-docking master
1-C2	Recepción de pallets IN para cross-docking unitario
1-C3	Posiciones para clasificación por sucursal
1-C4	Estanterías de clasificación para cross-docking unitario
1-C5	Zona de consolidación cross-docking
1-C6	Ubicaciones a piso para cross-docking de electrodomésticos y similares
1-SM1	Almacenamiento palletizado (stock caja master)
1-SM2	Almacenamiento palletizado para reabastecer stock unitario (importados)
1-SU1	Recepción de pallets IN para stock unitario
1-SU2	Almacenamiento en cajas (picking unitario)
1-SU3	Consolidación de pedidos OUT de picking unitario

2. Códigos de referencia - Layout Alternativa Híbrida (-)

Código	Área Referenciada
2-R1	Andenes de recepción
2-R2	Zona de staging de recepción
2-E1	Andenes de expedición
2-E2	Zona de staging de expedición
2-A1	Oficina
2-A2	Zona de resolución de problemas
2-A3	Zona de valor agregado

2-A4	Staging de auditoría
2-A5	Andén de auditoría
2-A6	Almacenamiento de devoluciones
2-C1	Recepción de pallets IN para cross-docking (pulmón)
2-C2	Entrada sorter
2-C3	Sorter
2-C4	Rama para cross-docking unitario
2-C5	Estaciones PTL para cross-docking unitario
2-C6	Posiciones para clasificación por sucursal
2-C7	Zona de consolidación cross-docking
2-C8	Ubicaciones a piso para cross-docking de electrodomésticos y similares (debajo de racks)
2-C9	Punto espera AMR
2-SM1	Almacenamiento palletizado (stock caja master)
2-SM2	Almacenamiento palletizado para reabastecer stock unitario (importados)
2-SU1	Recepción de pallets IN para stock unitario
2-SU2	Almacenamiento en cajas (picking unitario)
2-SU3	Consolidación de pedidos OUT de picking unitario

3. Códigos de referencia - Layout Alternativa Híbrida (+)

Código	Área Referenciada
3-R1	Andenes de recepción
3-R2	Zona de staging de recepción
3-E1	Andenes de expedición
3-E2	Zona de staging de expedición
3-A1	Oficina
3-A2	Zona de resolución de problemas
3-A3	Zona de valor agregado
3-A4	Staging de auditoría
3-A5	Andén de auditoría
3-A6	Almacenamiento de devoluciones
3-C1	Recepción de pallets IN para cross-docking (pulmón)
3-C2	Entrada Sorter con cobot
3-C3	Sorter
3-C4	Rama para cross-docking unitario
3-C5	Sorter con AMR para cross-docking unitario

3-C6	Posiciones para clasificación por sucursal
3-C7	Zona de consolidación cross-docking
3-C8	Ubicaciones a piso para cross-docking de electrodomésticos y similares (debajo de racks)
3-C9	Punto espera AMR
3-SM1	Almacenamiento palletizado (stock caja master)
3-SM2	Almacenamiento palletizado para reabastecer stock unitario (importados)
3-SU1	Recepción de pallets IN para stock unitario
3-SU2	Estación de ingreso de cajones
3-SU3	Almacenamiento compacto en cajones (picking unitario con cobots)
3-SU4	Estación GTP (goods-to-person)
3-SU5	Estación de pedidos prontos
3-SU6	Consolidación de pedidos OUT de picking unitario

4. Códigos de referencia - Layout Alternativa Automática

Código	Área Referenciada
4-R1	Andenes de recepción
4-R2	Zona de staging de recepción
4-E1	Andenes de expedición
4-E2	Zona de staging de expedición
4-A1	Oficina
4-A2	Zona de resolución de problemas
4-A3	Zona de valor agregado
4-A4	Staging de auditoría
4-A5	Andén de auditoría
4-A6	Almacenamiento de devoluciones
4-C1	Recepción de pallets IN para cross-docking (pulmón)
4-C2	Entrada Sorter con cobot
4-C3	Sorter
4-C4	Rama para cross-docking unitario
4-C5	Sorter con AMR para cross-docking unitario
4-C6	Posiciones para clasificación por sucursal
4-C7	Zona de consolidación cross-docking
4-C8	Ubicaciones a piso para cross-docking de electrodomésticos y similares (debajo de racks)
4-C9	Punto espera AMR
4-SM1	Almacenamiento palletizado (stock caja master)

4-SM2	Almacenamiento palletizado para reabastecer stock unitario (importados)
4-SU1	Recepción de pallets IN para stock unitario
4-SU2	Estación de ingreso de cajones
4-SU3	Almacenamiento compacto en cajones (picking unitario con cobots)
4-SU4	Estación GTP (goods-to-person)
4-SU5	Estación de pedidos pronto
4-SU6	Consolidación de pedidos OUT de picking unitario