

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Desarrollo de un sistema de gestión de inventarios para  
optimizar el manejo y control de productos ortoprotésicos**

Trabajo de graduación presentado por Julio José Fuentes Ponce para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica  
Industrial

Guatemala,  
2025



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Desarrollo de un sistema de gestión de inventarios para  
optimizar el manejo y control de productos ortoprotésicos**

Trabajo de graduación presentado por Julio José Fuentes Ponce para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica  
Industrial

Guatemala,  
2025

Asesor



---

Ing. Laura Roldán

Vo.Bo. Director



---

Ing. Gustavo Barrera  
Ingeniería mecánica industrial

Fecha de presentación: Guatemala, 18 de noviembre de 2025.

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la vida y un propósito que me permite ayudar a las personas tanto dentro como fuera de mi campo de desarrollo profesional. Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo constante y desinteresado de muchas personas y entidades a lo largo del camino.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, especialmente a mis padres, quienes han hecho grandes esfuerzos para brindarme una educación de calidad y ofrecerme la oportunidad de emprender un negocio orientado al bienestar de los demás. Su apoyo incondicional ha sido una base sólida en cada una de mis decisiones y logros.

Agradezco también a mis catedráticos, quienes me acompañaron durante toda mi trayectoria educativa, siempre dispuestos a resolver mis dudas y a compartir su conocimiento y experiencia. Su apoyo fue fundamental para poder llegar hasta este punto.

Finalmente, quiero agradecer al equipo de Ortobility, quienes han trabajado incansablemente para el crecimiento del negocio y me han respaldado en los momentos en los que necesitaba concentrarme en mis estudios. Su compromiso y dedicación permitieron que el proyecto continuara avanzando aun cuando mi atención no podía estar plenamente en él. Gracias a su esfuerzo conjunto, hoy puedo presentar este trabajo con la certeza de que fue posible gracias a la colaboración de cada uno de ustedes.

# Índice

<b>Prefacio</b>	II
<b>Lista de figuras</b>	VII
<b>Lista de cuadros</b>	IX
<b>Resumen</b>	X
<b>I Introducción</b>	1
<b>II Antecedentes</b>	3
<b>III Justificación</b>	4
<b>IV Objetivos</b>	6
A Objetivo general . . . . .	6
B Objetivos específicos . . . . .	6
<b>V Identificación de requisitos</b>	8
A Identificación de requisitos . . . . .	8
<b>VI Revisión del estado del arte</b>	12
A Industria 4.0 en la gestión de almacenes . . . . .	12
B Sistemas de gestión de inventarios . . . . .	13
C Sistemas de gestión de almacenes (WMS) . . . . .	14
D Uso de Excel en la gestión de inventarios . . . . .	14
E Identificación automática y captura de datos (AIDC) . . . . .	15
1 Tecnologías de código de barras . . . . .	15
2 Tecnologías RFID . . . . .	16
3 Desafíos y barreras en la implementación de AIDC . . . . .	16
4 Tendencias futuras en AIDC y almacenes inteligentes . . . . .	17
5 Ejemplo de aplicación de un sistema RFID de bajo costo . . . . .	17
F Uso de códigos QR en la gestión de inventarios . . . . .	18
1 Ventajas de los códigos QR frente a otras tecnologías . . . . .	18
2 Aplicaciones prácticas de los códigos QR en inventarios . . . . .	18
3 Impacto de los códigos QR en la eficiencia operativa . . . . .	19
4 Perspectivas futuras en el uso de códigos QR . . . . .	19
G Internet de las cosas (IoT) en la gestión de almacenes . . . . .	19
1 Aplicaciones prácticas del IoT en almacenes . . . . .	19

2	Integración con <i>machine learning</i> (ML) e IA	20
3	Desafíos y consideraciones de seguridad	20
4	Impacto del IoT según el tamaño de la empresa	20
5	Ejemplo de implementación en un almacén automatizado	21
H	Tecnología de estanterías móviles en la gestión de almacenes	21
<b>VII</b>	<b>Metodología</b>	<b>22</b>
A	Descripción general del enfoque metodológico	22
B	Fase 1: diagnóstico del sistema actual de inventario y condiciones del almacén	23
1	Revisión del proceso actual de registro de inventario	23
2	Evaluación de los métodos informales de trazabilidad	23
3	Inspección del entorno físico de almacenamiento	24
4	Principales hallazgos y fundamento para fases posteriores	24
C	Fase 2: definición de requisitos del sistema	24
D	Fase 3: diseño del sistema y redistribución del espacio	25
1	Análisis de rotación y clasificación ABC	25
2	Redistribución del inventario en el almacén	27
3	Selección y asignación de estanterías	28
4	Diseño de pasillos y condiciones de circulación	28
E	Fase 4: redistribución física del almacén y adecuación del espacio	28
1	Despeje del espacio de trabajo	29
2	Reubicación de estanterías y colocación del inventario	29
3	Diseño de pasillos y condiciones de circulación	29
4	Preparación de las estanterías para la identificación posterior	30
5	Validación de la capacidad de almacenamiento	30
6	Cálculo del incremento de área disponible	30
F	Fase 5: desarrollo e implementación del sistema digital y prueba inicial	31
1	Diseño del flujo funcional del sistema	31
2	Módulos funcionales implementados	32
3	Herramientas tecnológicas utilizadas	34
4	Estructura relacional de la base de datos	36
5	Interfaz gráfica e integración con Retool	36
6	Configuración de códigos QR y dispositivos	52
7	Prueba inicial con productos de alta rotación	53
8	Indicadores de precisión y valor del inventario	54
9	Verificación del método PEPS en el sistema de inventario	62
10	Verificación del sistema de alertas de inventario	63
11	Procedimiento para identificar y comparar ventas perdidas a partir de registros de mensajería	64
12	Procedimiento ante inactividad del sistema digital	64
<b>VIII</b>	<b>Resultados</b>	<b>66</b>
<b>IX</b>	<b>Discusión de resultados</b>	<b>80</b>
A	Verificación del sistema anterior y comparativa con el nuevo sistema	80
B	Rotación de inventario (julio–septiembre 2025)	83
C	Comparación de rupturas de inventario entre los sistemas	84
D	Redistribución física del almacén	85

E	Cobertura y trazabilidad mediante códigos QR	86
F	Productos con mayor costo de error	87
G	Desempeño de consultas	88
H	Manejo PEPS del nuevo sistema	88
I	Alertas de inventario en el sistema digital	89
J	Experiencia de los usuarios	89
<b>X</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>91</b>
<b>XI</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>93</b>
<b>XII</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>95</b>
<b>XIII</b>	<b>Anexos</b>	<b>98</b>
A	Diagramas funcionales del sistema IMS	99
B	Encuesta de comparación de experiencia entre el sistema anterior y el nuevo sistema SGI	103
C	Plano de la distribución previa de la bodega	104
D	Plano de redistribución de la bodega	106
E	Comparación visual del estado anterior y actual de la bodega	108
F	Ejemplo de hoja de registro durante inactividad del sistema	109
G	Registro de fallas del sistema	109

# Lista de figuras

1	Curva de Pareto y clasificación ABC de productos por categoría (mayo 2023–no- viembre 2024)	26
2	Curva de Pareto y clasificación ABC de productos por categoría (mayo 2023–no- viembre 2024)	27
3	Flujo funcional simplificado del IMS	32
4	Modelo entidad-relación (ERD) del sistema IMS	36
5	<i>Dashboard</i> del sistema de inventarios	37
6	Módulo de ingreso de productos	38
7	Vista de tabla en el módulo de entrada existente	39
8	Formulario de entrada de producto existente	40
9	Vista de tabla en el módulo de entrada de producto nuevo	41
10	Formulario para producto nuevo (vista 1)	42
11	Vista de productos disponibles para retiro	43
12	Formulario de salida funcional	43
13	Módulo de gestión de devoluciones	44
14	Tabla de devoluciones realizadas por clientes	45
15	Formulario de devolución de cliente	46
16	Vista general del módulo de consultas	46
17	Consulta de productos registrados	47
18	Consulta de producto individual	48
19	Consulta de transacciones - vista general	49
20	Consulta de transacciones con filtros	50
21	Alerta en el panel principal del sistema	51
22	Vista de tabla del módulo de alertas	52
23	Curva de Pareto y clasificación ABC del sistema anterior por código SKU según la demanda (abril–junio 2025)	68
24	Curva de Pareto y clasificación ABC del sistema anterior por subcategoría del inventario según la demanda (abril–junio 2025)	69
25	Curva de Pareto y clasificación ABC por código SKU del nuevo sistema según la demanda (julio–septiembre 2025)	70
26	Curva de Pareto y clasificación ABC por sub-categoría del nuevo sistema según la demanda (julio–septiembre 2025)	71
27	Composición del inventario al corte por participación del valor de las cate- gorías ABC y productos obsoletos (julio–septiembre 2025)	72
28	Distribución inicial de la bodega con área utilizable de 12.79 m <sup>2</sup>	76
29	Distribución final de la bodega con área utilizable de 19.30 m <sup>2</sup>	76
30	Comparación gráfica de la experiencia del usuario por dimensión (escala 1–5)	79

31	Flujo funcional del módulo de entradas del sistema IMS	99
32	Flujo funcional del módulo de salidas del sistema IMS	100
33	Flujo funcional del módulo de devoluciones del sistema IMS	101
34	Flujo funcional del módulo de consultas del sistema IMS	102
35	Estado previo de la bodega antes de la redistribución	108
36	Estado actual de la bodega tras la redistribución	108
37	Registro del error en la visualización de consultas durante la prueba del 22 de septiembre de 2025	109

# Lista de cuadros

1	Nomenclatura de códigos . . . . .	9
2	Requisitos del sistema de gestión de inventarios . . . . .	10
3	Requisitos del diseño de la bodega . . . . .	10
4	Clasificación ABC y curva de Pareto de productos por categoría en el sistema previo (mayo 2023–noviembre 2024) . . . . .	25
5	Clasificación ABC y curva de Pareto de productos por subcategoría en el sistema previo (mayo 2023–noviembre 2024) . . . . .	26
6	Tipos de estanterías y zonas asignadas . . . . .	28
7	Estructura recomendada para el registro manual durante la inactividad del sistema digital . . . . .	65
8	Requisitos del sistema de gestión de inventarios y diseño de bodega . . . . .	66
9	Clasificación ABC por código SKU del sistema anterior según la demanda (abril–junio 2025) . . . . .	68
10	Clasificación ABC por sub-categoría del sistema anterior según la demanda de productos ortoprotésicos (abril–junio 2025) . . . . .	69
11	Clasificación ABC por código SKU del nuevo sistema según la demanda (julio–septiembre 2025) . . . . .	70
12	Clasificación ABC por sub-categoría del nuevo sistema según la demanda (julio–septiembre 2025) . . . . .	71
13	Composición del inventario al corte por participación del valor, SKUs con categoría y unidades (julio–septiembre 2025) . . . . .	72
14	Comparación por corte entre valor del sistema y del inventario físico del sistema anterior y el sistema nuevo . . . . .	73
15	Exactitud del inventario por corte considerando únicamente productos (SKU) . . . . .	73
16	Exactitud del inventario considerando producto y ubicación (SKU–ubicación) . . . . .	73
17	Costo de discrepancias entre el sistema digital y el inventario físico por periodo de control . . . . .	73
18	Costo de discrepancias entre el sistema nuevo y el inventario físico por SKU–Ubicación . . . . .	74
19	Productos con mayor costo asociado a discrepancias por corte entre el sistema previo y el sistema nuevo) . . . . .	74
20	Indicadores de rotación de inventarios correspondientes al periodo del 1 de julio al 30 de septiembre de 2025 . . . . .	74
21	Indicador GMROI mensual correspondiente al periodo del 1 de julio al 30 de septiembre de 2025 . . . . .	75
22	Comparativo entre sistemas de rupturas de inventario (abril–junio vs. julio–septiembre) . . . . .	75

23	Comparación del área en la bodega antes y después de la redistribución . . .	75
24	Cobertura QR y movimiento de productos de alta rotación (categoría A) durante el periodo (julio–septiembre 2025) . . . . .	77
25	Verificación del cumplimiento del método PEPS según producto y ubicación (muestra de 10 registros) para el periodo de (julio–septiembre 2025) . . . . .	77
26	Verificación del método PEPS por evento de salida según lote de entrada y lote de despacho (muestra de 10 registros) . . . . .	78
27	Alertas de inventario en productos de alta rotación — <i>dashboard</i> (corte: 2025-10-08) . . . . .	78
28	Evaluación del sistema de alertas mediante indicadores clave de desempeño (corte 8 de octubre de 2025) . . . . .	78
29	Tiempos de consulta en el sistema nuevo . . . . .	79
30	Ejemplo de hoja de registro durante la inactividad del sistema digital . . . . .	109

La empresa objeto de estudio, dedicada a la distribución de productos ortoprotésicos, gestionaba su inventario mediante registros manuales y hojas de cálculo, generando discrepancias frecuentes y baja trazabilidad. El objetivo fue desarrollar e implementar un sistema de gestión de inventarios con registro automatizado por códigos QR y reorganización física de la bodega para optimizar el control y el manejo frente a la situación inicial. La metodología combinó diagnóstico del sistema previo, definición de requisitos, análisis ABC, rediseño de plano de distribución de la bodega, desarrollo de una base de datos relacional (PostgreSQL) e interfaz operativa (Retool), y una prueba inicial con productos de alta rotación. Los resultados muestran un incremento de la exactitud de 66.24% (sistema previo) a 94.29% por SKU y 94.15% por SKU-ubicación, una reducción del costo total de error de Q179,701.87 (26.18%) a Q15,239.33 (2.42%), cumplimiento PEPS verificado, cobertura del 100% de salidas con QR en el periodo analizado, y tiempos de consulta con  $p95 < 2$  s. La redistribución elevó el área transitable de 12.79 m<sup>2</sup> a 19.30 m<sup>2</sup> (+50.9%). La satisfacción de usuarios mejoró en facilidad de uso, desempeño y percepción global. Se concluye que el sistema propuesto optimiza la precisión, la trazabilidad y la operación del inventario, cumpliendo el objetivo general y sentando bases para su escalamiento.

La gestión de inventarios en la organización objeto de estudio presenta limitaciones que afectan la precisión del registro y la eficiencia operativa. El flujo de información se apoya en prácticas manuales y hojas de cálculo, lo que favorece discrepancias entre el inventario físico y el digital, entradas y salidas con validaciones insuficientes, ausencia de una nomenclatura de ubicaciones y una distribución de bodega que dificulta el acceso a referencias de alta rotación. Estas condiciones se traducen en tiempos de búsqueda elevados, decisiones con información incompleta y riesgos de faltantes o excedentes que impactan la continuidad del servicio.

Este se delimita a una intervención integral en la bodega principal de la organización, con énfasis en las familias de productos ortoprotésicos de mayor rotación. La solución combina el rediseño físico de la bodega, incluida la definición de una nomenclatura de ubicaciones y criterios de accesibilidad, con el desarrollo de un sistema digital de inventarios basado en códigos QR, registro transaccional de entradas y salidas, consultas operativas y alertas. La implementación se planifica por fases para reducir riesgos, estabilizar procesos y asegurar la adopción del personal durante el periodo de estudio acordado con la organización.

El objetivo general es optimizar el manejo y control del inventario respecto a la situación inicial mediante procesos automatizados de captura y consulta. En apoyo a este objetivo, los ejes específicos articulan: (1) el diagnóstico del sistema vigente y la definición de requisitos; (2) la clasificación ABC para priorizar espacio y atención; (3) el diseño de una nueva distribución de la bodega y la nomenclatura de ubicaciones; (4) el desarrollo del sistema digital con soporte para PEPS y trazabilidad por ubicación; (5) el despliegue por etapas iniciando en alta rotación; (6) la comparación de precisión entre inventario físico y registro digital antes y después de la intervención; y (7) la evaluación de la experiencia de usuario.

Los sistemas de gestión de inventarios y almacenes (IMS/WMS) más actualizados integran captura automática de datos y funcionalidades de trazabilidad que superan las limitaciones de las hojas de cálculo cuando se exige control transaccional y visibilidad por ubicación. Dentro de ese marco, la tecnología QR ofrece una alternativa de bajo costo y rápida adopción frente a otras opciones más complejas, siempre que el diseño de procesos

y la disciplina operativa la respalden. Paralelamente, el rediseño de la bodega con criterios ABC mejora la accesibilidad a ítems críticos y reduce tiempos de preparación, mientras que políticas como PEPS contribuyen a la rotación adecuada y al control de caducidad o equivalentes.

El aporte del trabajo es doble. Para la organización, entrega una arquitectura físico-digital coherente que reduce errores humanos, acorta los tiempos de búsqueda y habilita decisiones basadas en datos en el día a día. Para la práctica ingenieril, documenta un paquete de implementación, alineado a restricciones de costo y adopción, que integra criterios de diseño de bodega, nomenclatura de ubicaciones, reglas operativas y un sistema transaccional sustentado en códigos QR. El documento se estructura en justificación y objetivos, identificación de requisitos, revisión del estado del arte, metodología de diseño e implementación, resultados, discusión, y finaliza con conclusiones y recomendaciones orientadas a la consolidación y escalamiento de la solución.

---

### Antecedentes

---

Es la relación de su proyecto con trabajos planteados con anterioridad. Se debe analizar la literatura, pero no en una forma histórica exhaustiva. Es necesario hacer una revisión previa del tema.

- Estudios previos y publicaciones relacionadas con el problema planteado.
- Identificar los objetivos y principales hallazgos de los estudios o proyectos previos.
- Identificar los autores y año en que realizaron los estudios o proyectos previos

Solo se debe citar y hacer referencia a trabajos pertinentes y relacionados directamente con lo que se quiere investigar.

Los antecedentes constituyen elementos teóricos que permitirán precisar y delimitar el objeto de estudio y por consiguiente los propósitos del proyecto a desarrollar.

Importante, los antecedentes no es definir conceptos del tema de investigación sino que son una recopilación de estudios previos sobre el tema de investigación. Si hay conceptos que considere necesarios definir y aclarar se usa el glosario para este fin.

---

### Justificación

---

El proyecto se basa en una empresa comercial de materia prima para la profesión de órtesis y prótesis, la cual comenzó sus operaciones a mediados de 2022. Sin embargo, la empresa nació como un departamento poco desarrollado de otra compañía, sin personal entrenado en ventas ni en manejo de inventario, con experiencia limitada a una bodega de insumos de la empresa matriz. Esto ha resultado en una gestión ineficiente y pocas oportunidades de crecimiento.

Marqués et al. (2017) señalan:

“La base de toda empresa comercial es la compra y venta de bienes o servicios; de aquí la importancia del manejo de inventario por parte de esta”.

Lo anterior implica que un manejo inadecuado de los bienes destinados a la venta impide alcanzar el objetivo final de generar ingresos. Por tanto, la empresa desea mejorar su gestión actual mediante una nueva forma de distribuir su bodega y manejar las entradas y salidas de productos.

Actualmente, la empresa gestiona su inventario de forma manual con un componente digitalizado. Es decir, las entradas y salidas se registran a mano y luego se transfieren a una hoja de cálculo digital. Este método ha provocado errores recurrentes en el cuadro de entradas y salidas, lo que lleva a discrepancias en el inventario, con productos faltantes o sobrantes en la bodega.

Además, la bodega carece de un orden lógico para el almacenamiento de productos, lo que genera ineficiencias y confusión. Los productos se colocan en cualquier espacio disponible, sin considerar si bloquean el acceso o interfieren con el manejo de otros productos ya almacenados. Esta desorganización dificulta la localización y el manejo de productos específicos, complicando el trabajo de los operadores.

Por estas razones, es crucial implementar un sistema de ubicación y optimización para la bodega de la empresa. Una gestión deficiente de inventarios puede resultar en el fracaso de

una empresa (Marqués et al., 2017). Dado que la empresa se dedica a la venta de productos al por menor y no maneja grandes volúmenes de venta, no necesita una bodega muy grande como la que actualmente alquila.

Con este proyecto se espera lograr una bodega que permita un manejo eficiente de los productos. Al finalizar el proyecto, se pretende establecer una base funcional para el control de entradas y salidas de productos dentro de la bodega, reduciendo así los errores de inventario causados por el descontrol en las entradas y salidas. De esta manera, se mejorará significativamente la organización y eficiencia operativa, facilitando la disponibilidad de productos y contribuyendo al crecimiento de la empresa.

### A. Objetivo general

Desarrollar e implementar un sistema de gestión de inventarios para una empresa que distribuye productos ortoprotésicos con procesos automatizados de registro de entradas y salidas de productos, con el propósito de optimizar el manejo y control del inventario respecto a la situación actual.

### B. Objetivos específicos

1. Evaluar el sistema actual de gestión de inventarios para identificar áreas de mejora y problemas específicos relacionados con la organización y el control del inventario, con el fin de optimizar la eficiencia operativa.
2. Clasificar los productos del inventario según su rotación y valor económico, estableciendo categorías que permitan priorizar su configuración en el sistema digital y en el espacio físico de la bodega.
3. Diseñar un plano de redistribución de la bodega que facilite la localización precisa de los productos, especialmente aquellos de mayor rotación y que suelen venderse juntos, proyectando un incremento del espacio utilizable en al menos un 15 %.
4. Desarrollar un sistema de identificación y registro digital para los productos de mayor rotación que permita un control preciso de las entradas y salidas, asegurando que el 100 % de estos productos estén correctamente registrados en el sistema digital.
5. Implementar el sistema de registro digital por fases, iniciando con los productos de mayor rotación para identificar y corregir errores operativos antes de extenderlo a productos de menor rotación.

6. Comparar la precisión en el registro de entradas y salidas de productos antes y después de la implementación del nuevo sistema de gestión de inventarios.
7. Evaluar el grado de satisfacción de los usuarios respecto al nuevo sistema de gestión de inventarios, considerando la experiencia de uso y las mejoras percibidas.

## A. Identificación de requisitos

En esta sección se presenta la recopilación de información obtenida en el campo para definir requisitos relevantes para el desarrollo de un sistema de gestión de inventarios. Dado que no se realizaron entrevistas, encuestas o muestreos adicionales, los datos se obtuvieron mediante:

- **Definición de problema:** los operadores de la bodega enfrentan dificultades para localizar productos debido a la falta de un sistema organizado de almacenamiento. Además, las discrepancias entre las cantidades registradas en el sistema manual y el inventario físico provocan confusión y retrasos operativos.
- **Identificación de requisitos:**
  - **Entrevistas:** se entrevistó a dos operadores de la bodega el 1 de noviembre de 2024. Ambos coincidieron en que no encuentran fácilmente los productos debido al desorden, y señalaron que no se sabe con exactitud qué productos están disponibles en todo momento.
  - **Muestreo:** el 1 de noviembre de 2024, se realizó un inventario físico completo, evidenciando múltiples discrepancias entre las cantidades físicas y las registradas en el sistema actual. Este fue el único muestreo realizado.
  - **Visitas de campo:**
    - **Medición y registro de dimensiones:** se documentaron las dimensiones de la bodega (5.85 m x 6.23 m x 3.19 m) y la ubicación de las estanterías, incluyendo las áreas ocupadas por insumos externos.
    - **Documentación fotográfica:** se tomaron fotografías del estado actual de la bodega, destacando áreas desordenadas, productos colocados en el suelo y pasillos inaccesibles.

- **Inventario físico:** durante la visita de campo se verificaron las cantidades y ubicaciones de los productos, evidenciando problemas de accesibilidad y organización.
- **Revisión de datos históricos:** se recopiló información de ventas y movimientos de inventario de los últimos meses hasta el 13 de noviembre de 2024. Esto permitió identificar patrones de rotación de productos y resaltar la necesidad de optimizar el sistema de reposición y uso del espacio.

La información obtenida permitió definir varios requisitos específicos:

- **Limitaciones de espacio:** la bodega comparte espacio con otra empresa, lo cual limita su capacidad para almacenar productos adicionales o reubicar mercancías.
- **Necesidad de un sistema digitalizado:** actualmente, el registro de entradas y salidas se realiza de forma manual, lo que da lugar a errores en el control de inventario y discrepancias entre los registros y las existencias reales.
- **Requerimientos de seguridad:** se observó la necesidad de mejorar la seguridad de los trabajadores mediante el uso de guías de tránsito en el suelo y señalización visible en áreas de riesgo dentro de la bodega.
- **Requisitos de organización:** la disposición actual de los productos en la bodega no sigue un orden lógico, generando ineficiencia en el manejo de inventario.
- **Accesibilidad de los productos:** se requiere un rediseño en la distribución de las estanterías para facilitar el acceso a productos de alta rotación y asegurando el paso de los operadores con medidas corporales promedio.

Los datos presentados en esta sección reflejan la situación actual y las necesidades detectadas mediante observación y análisis de datos históricos, sin tomar decisiones ni proponer soluciones. Estas conclusiones serán consideradas en el marco metodológico para el diseño del sistema de gestión de inventarios.

Cuadro 1: Nomenclatura de códigos

Código Base	Categoría
SGI-S	Sistema de gestión de inventarios - <i>Software</i>
SGI-H	Sistema de gestión de inventarios - <i>Hardware</i>
DB-S	Diseño de la bodega - Seguridad
DB-E	Diseño de la bodega - Estructura
DB-A	Diseño de la bodega - Accesibilidad
DB-P	Diseño de la bodega - Prácticos

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2: Requisitos del sistema de gestión de inventarios

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
SGI-S01	El sistema debe registrar automáticamente el 100 % de las entradas y salidas mediante códigos de QR.
SGI-S02	Las alertas de inventario mínimo deben activarse automáticamente cuando las existencias estén al mínimo del cálculo del modelo de lote óptimo de pedido para los productos de más alta rotación.
SGI-S03	La interfaz de usuario debe permitir consultas rápidas de inventario en menos de 2 segundos.
SGI-S04	El sistema debe sincronizarse automáticamente con la nube cada 5 minutos para respaldo y seguridad.
SGI-S05	El sistema debe ser escalable, permitiendo asignar un código único para cada posición en la bodega, sincronizado con el sistema digital.
SGI-S06	El sistema debe implementar la metodología PEPS (Primero en entrar, primero en salir) para la rotación de inventarios.
SGI-S07	El sistema debe permitir el uso de teléfonos inteligentes para la lectura de códigos de QR.
SGI-S08	Debe evaluarse y adquirirse un software preexistente para la gestión de inventarios que permita la lectura de códigos QR y registro automatizado de entradas y salidas.
SGI-S09	Los códigos QR no deben tener fecha de caducidad.
SGI-S10	El sistema debe tener una funcionalidad para gestionar productos en liquidación y defectuosos, incluyendo su rastreo y estado actual, sin mezclarlos con productos en buen estado ni mezclar los de liquidación con los defectuosos.
SGI-H01	El lector de códigos QR debe tener un rango efectivo de al menos 50 cm, soportar uso continuo durante 8 horas o contar con posibilidad de recarga.
SGI-H02	Las ubicaciones en la bodega deben estar visibles y legibles, con un tamaño de letra que permita ser visibles al menos a 1 metro de distancia.
SGI-H03	El sistema o software de generación de códigos debe ser compatible con impresoras de etiquetas.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3: Requisitos del diseño de la bodega

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
DB-S01	Las estanterías deben soportar cargas de al menos 150 kg por nivel, según normativa internacional ISO 11262:2007.
DB-E01	La disposición debe aumentar la eficiencia de acceso a productos en al menos un 15 % con respecto a la actual.

Continúa en la siguiente página

Cuadro 3: continuación desde la página anterior

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
DB-A01	Las estanterías inferiores de cada estantería se utilizarán para apilar planchas plásticas de al menos 2 m x 6 mm y deben tener espacio para manejarlas, apiladas en dos estanterías consecutivas.
DB-A02	Las posiciones dentro de las estanterías y gabinetes deben identificarse con un código alfanumérico único, estructurado por estantería, fila y columna (por ejemplo, E001A para la fila inferior de la Estantería 1).
DB-P01	La ubicación de los productos debe garantizar que los de mayor rotación estén a no más de 2.5 metros de la entrada a la bodega.
DB-P02	Las estanterías para planchas de 2 metros deben garantizar que no interfieran con el paso ni el acceso a otros productos, considerando un espacio libre de 390 mm de cada lado donde se encuentran estas planchas.
DB-P03	Debe haber un área específica para productos obsoletos o en proceso de baja, claramente delimitada y separada del inventario activo. Los productos defectuosos y de liquidación tendrán un apartado en la sección de rotación baja dentro de la bodega.

Fuente: Elaboración propia

## A. Industria 4.0 en la gestión de almacenes

La implementación de tecnologías de la industria 4.0 ha transformado la gestión de almacenes, convirtiéndolos en sistemas automatizados e integrados con tecnologías avanzadas. Entre las principales tecnologías que se han incorporado se encuentran el internet de las cosas (IoT), la identificación por radiofrecuencia (RFID), la computación en la nube, y los robots móviles autónomos (AMRs), los cuales han optimizado significativamente la precisión, eficiencia y la toma de decisiones en tiempo real (Tikwayo & Mathaba, 2023). Estas innovaciones no solo mejoran la flexibilidad y eficiencia de las operaciones, sino que también disminuyen la dependencia del trabajo manual, lo que repercute en una reducción de los costos operativos y en un servicio al cliente más eficiente (Kumar et al., 2021, p. 3471).

Un factor clave que ha impulsado esta transformación digital es el crecimiento acelerado del comercio electrónico, el cual ha incrementado la presión sobre los almacenes para cumplir con las demandas de los clientes en plazos más cortos y con mayor precisión. Tecnologías como el AS/RS (sistemas de almacenamiento y recuperación automatizados) y el uso de vehículos autónomos han contribuido a aumentar la velocidad y eficiencia de las operaciones (Kumar et al., 2021, p. 3475). A pesar de estas innovaciones, se estima que un 90% de los almacenes a nivel global siguen operando de manera manual o con un nivel bajo de automatización (Kumar et al., 2021, p. 3471).

Otro aspecto importante de la industria 4.0 en la gestión de almacenes es la capacidad de análisis de datos en tiempo real, facilitada por el IoT y la computación en la nube. Estas tecnologías permiten una visibilidad optimizada del inventario y una respuesta más ágil ante variaciones en la demanda (Tikwayo & Mathaba, 2023). Asimismo, el uso de *blockchain* en las operaciones logísticas ha fortalecido la trazabilidad de los productos y ha mejorado la seguridad en la gestión de datos (Kumar et al., 2021, p. 3471).

No obstante, se identifican barreras que dificultan la adopción generalizada de estas tecnologías, como los altos costos iniciales, la insuficiente infraestructura tecnológica y la

falta de personal capacitado (Kumar et al., 2021, p. 3471). Además, la investigación actual ha prestado relativamente poca atención a cuestiones relacionadas con la ergonomía y la seguridad en los almacenes, lo que destaca la necesidad de estudios adicionales en estas áreas (Kumar et al., 2021, p. 3485).

## B. Sistemas de gestión de inventarios

Los sistemas de gestión de inventarios (IMS) han evolucionado desde herramientas básicas para el control de existencias hasta convertirse en plataformas estratégicas para optimizar operaciones en toda la cadena de suministro. Originalmente creados para reducir costos de almacenamiento y evitar desabastecimientos, los IMS modernos integran tecnologías como el internet de las cosas (IoT) y el aprendizaje automático, permitiendo una gestión precisa y adaptativa del inventario (Habsi et al., 2023). Un estudio de Gan Jhui Ken (2023) aplicado a almacenes de medicamentos mostró que la implementación de IMS con IoT optimizó la rotación de inventarios, resultando en una reducción notable de tiempos de espera en la reposición de productos críticos, particularmente útil en el contexto farmacéutico.

En términos de tendencias actuales, el análisis predictivo y el procesamiento en tiempo real se han convertido en componentes esenciales de los IMS. Estos permiten ajustar los niveles de inventario en función de las proyecciones de demanda específicas de cada sector. Aluguri et al. (2023) destacan que en el sector manufacturero, la integración de análisis en tiempo real con IMS ha permitido sincronizar la producción con la demanda, disminuyendo costos relacionados con el almacenamiento de inventarios en exceso durante periodos de baja actividad. Por otro lado, en el sector minorista, Praveen K B y Bangalore Institute Of Technology (2020) reportan una precisión en predicciones de demanda del 92 % tras implementar modelos predictivos, lo cual ha optimizado el flujo de productos y reducido el capital inmovilizado en inventarios de baja rotación.

La aplicación de modelos predictivos de aprendizaje automático es especialmente relevante en sectores de alta rotación y comercio electrónico. En un estudio con una plataforma de comercio electrónico, Sindhuja CNC et al. (2022) implementaron un sistema de predicción que redujo los costos asociados a la acumulación de inventario en un 25 %, manteniendo así un nivel óptimo de stock acorde a las demandas fluctuantes del mercado. Este tipo de predicción ha demostrado ser eficaz para mejorar la disponibilidad de productos en tiempos críticos, permitiendo a las empresas mantener un servicio competitivo en mercados de alta variabilidad.

La optimización del *slotting* ha demostrado ser un complemento efectivo en los IMS para maximizar el uso del espacio y reducir los tiempos de procesamiento de pedidos. Duque-Jaramillo et al. (2024) detallan un modelo de asignación de ubicación mediante programación lineal que, en el contexto de almacenes de piezas automotrices, incrementó la eficiencia en la preparación de pedidos al organizar los SKU de acuerdo con la demanda y características físicas del producto. Adicionalmente, Shin et al. (2023) encontraron un aumento en la capacidad de almacenamiento de hasta un 40 % al aplicar un sistema de rack móvil optimizado en espacios con limitaciones, lo cual se tradujo en mejoras significativas en el almacenamiento y la reducción de costos operativos en entornos de alta densidad.

## C. Sistemas de gestión de almacenes (WMS)

El sistema de gestión de almacenes (WMS, por sus siglas en inglés) es una herramienta clave en la logística moderna, proporcionando control digitalizado sobre las operaciones de almacén, tales como el *picking* y empaquetado, lo que contribuye a una mayor eficiencia operativa (Gan Jhui Ken, [2023](#), p. 663). Estos sistemas integran tecnologías como códigos de barras, redes inalámbricas y soluciones en la nube, lo que facilita el acceso a datos en tiempo real para una gestión precisa del inventario (Gan Jhui Ken, [2023](#), p. 663). La implementación de WMS mejora la planificación logística al permitir una asignación más efectiva de los recursos y reducir los errores en la manipulación de productos (Gan Jhui Ken, [2023](#), p. 664).

Con la incorporación de tecnologías de la industria 4.0, como el IoT y la inteligencia artificial, los sistemas WMS no solo permiten gestionar los inventarios en tiempo real, sino también prever la demanda y optimizar los niveles de stock, reduciendo los riesgos de desabastecimiento o exceso de inventario (B. Sai Subrahmanya Tejesh, [2018](#), p. 3818). Además, la adopción de soluciones basadas en la nube ha contribuido a la reducción de costos operativos, incrementando al mismo tiempo la flexibilidad y escalabilidad de las operaciones (Rana, [2023](#), p. 1155).

Tecnologías como la RFID y los sistemas ERP también desempeñan un rol crucial en la automatización y optimización de los procesos de gestión de almacenes. La RFID, por ejemplo, proporciona una visibilidad completa del inventario y disminuye el riesgo de pérdida de productos al permitir el seguimiento automatizado de los movimientos dentro del almacén (Habsi et al., [2023](#), p. 3). Los sistemas ERP, tales como SAP, integran múltiples procesos operativos, facilitando el flujo de información y mejorando el control sobre la recepción, almacenamiento y calidad de los productos (Habsi et al., [2023](#), p. 3). Estas soluciones no solo reducen los costos operativos, sino que también incrementan la eficiencia al automatizar tareas que previamente se realizaban manualmente (Habsi et al., [2023](#), p. 4).

A pesar de las numerosas ventajas que ofrece la implementación de un WMS, se presentan varios desafíos, como la necesidad de personal capacitado, la seguridad de los datos y la integración con sistemas preexistentes (Rana, [2023](#), p. 1155). Adicionalmente, las limitaciones tecnológicas, tales como la necesidad de actualizaciones constantes o la posible ocurrencia de fallas del sistema, pueden afectar la eficiencia de las operaciones si no se gestionan adecuadamente (Habsi et al., [2023](#), p. 4).

## D. Uso de Excel en la gestión de inventarios

Microsoft Excel es una alternativa económica y accesible para la gestión de inventarios, especialmente adecuada para pequeñas y medianas empresas. Su interfaz intuitiva y herramientas de análisis permiten realizar un seguimiento efectivo de inventarios mediante tablas dinámicas, gráficos y fórmulas, lo cual facilita el monitoreo de entradas y salidas de productos (Shinsato Junior et al., [2023](#)). Además, Excel permite automatizar tareas simples, como el cálculo de niveles de stock y la generación de reportes, mediante el uso de macros de VBA (Acosta Prieto et al., [2024](#)).

A pesar de sus beneficios, Excel tiene limitaciones significativas en entornos de alta com-

plejidad. La dependencia de entradas manuales aumenta el riesgo de errores, y su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos es limitada, lo que puede afectar el rendimiento en operaciones con alto flujo de inventarios (Shinsato Junior et al., 2023). Sin embargo, en aplicaciones de baja complejidad, Excel sigue siendo una herramienta valiosa. Por ejemplo, en un estudio en un almacén de piezas, un sistema de inventario en Excel ayudó a reducir el tiempo de actualización de datos y a mejorar el control básico de inventarios (Acosta Prieto et al., 2024).

Si bien Excel es útil en entornos con requerimientos básicos, se recomienda que las empresas en crecimiento o con necesidades de precisión consideren sistemas dedicados que ofrezcan automatización y visibilidad en tiempo real.

## E. Identificación automática y captura de datos (AIDC)

En el ámbito de la identificación automática y captura de datos (AIDC, por sus siglas en inglés), los sistemas de códigos de barras han dominado la logística durante décadas (B. Sai Subrahmanya Tejesh, 2018). Sin embargo, la identificación por radiofrecuencia (RFID) ha emergido como una alternativa más avanzada, proporcionando mayor seguridad y eficiencia a un costo competitivo. A diferencia de los códigos de barras, la RFID permite la lectura automática de múltiples etiquetas sin requerir línea de visión directa, lo que agiliza significativamente la gestión del inventario (B. Sai Subrahmanya Tejesh, 2018, p. 3819). Ambos sistemas, cuando se integran con un sistema de gestión de almacenes (WMS), permiten la actualización en tiempo real de los niveles de inventario, facilitando la localización precisa de productos y reduciendo los costos operativos (B. Sai Subrahmanya Tejesh, 2018, p. 3819).

El principal objetivo de la integración de AIDC con WMS es optimizar las operaciones del almacén sin interrumpir las actividades diarias. Esto se logra mediante la captura automática de datos, que minimiza los errores manuales y mejora la visibilidad del inventario (B. Sai Subrahmanya Tejesh, 2018, p. 3819). De esta manera, las empresas pueden lograr un mayor control sobre sus operaciones logísticas, incrementando la precisión y eficiencia en la gestión del inventario.

### 1. Tecnologías de código de barras

El código de barras es una de las tecnologías AIDC más extendidas en la gestión de almacenes debido a su simplicidad y eficiencia en la identificación automática de productos. Mediante escáneres ópticos, las barras se convierten en información alfanumérica que facilita la actualización inmediata de los sistemas de inventario, reduciendo errores humanos de manera significativa. Este tipo de tecnología es particularmente útil en procesos como la recepción de mercancías, el almacenamiento (*putaway*), el procesamiento de pedidos y la verificación de salida (Istiqomah et al., 2020). La integración del código de barras en los sistemas de gestión de almacenes (WMS) ha demostrado incrementar la eficiencia operativa, acelerando la identificación de productos, mejorando la toma de decisiones y disminuyendo los costos asociados a las operaciones (Istiqomah et al., 2020).

No obstante, la transición desde métodos manuales a esta tecnología puede presentar de-

safíos, tales como la necesidad de capacitar al personal y de implementar una infraestructura tecnológica adecuada (Istiqomah et al., 2020).

## 2. Tecnologías RFID

La identificación por radiofrecuencia (RFID) ha ganado relevancia en la gestión de almacenes modernos al ofrecer ventajas significativas sobre el código de barras, especialmente en términos de eficiencia y precisión. A diferencia de los códigos de barras, el RFID no requiere una línea de vista directa para identificar productos, lo que facilita una captura de datos más rápida y eficiente (Kumar et al., 2021). Utilizando ondas de radio, este sistema transmite información en tiempo real a una base de datos central, lo que incrementa la visibilidad y control del inventario, permitiendo una gestión más ágil de los productos dentro del almacén (Tikwayo & Mathaba, 2023). La capacidad de procesar grandes volúmenes de datos con mayor precisión convierte al RFID en una herramienta clave en la automatización de almacenes (Tikwayo & Mathaba, 2023).

Además, el RFID puede integrarse con tecnologías avanzadas como el internet de las cosas (IoT), lo que permite la monitorización remota y en tiempo real a lo largo de la cadena de suministro (Tikwayo & Mathaba, 2023). Esta combinación ha mejorado significativamente la eficiencia operativa, reduciendo tiempos de procesamiento y minimizando los errores en la captura de datos (Tikwayo & Mathaba, 2023). Sin embargo, la adopción masiva de RFID enfrenta obstáculos, entre ellos, los altos costos de implementación y la necesidad de una infraestructura tecnológica avanzada (Kumar et al., 2021).

## 3. Desafíos y barreras en la implementación de AIDC

A pesar de los claros beneficios que ofrecen las tecnologías AIDC, su implementación conlleva una serie de desafíos importantes. Tanto los sistemas de códigos de barras como los de RFID requieren una inversión inicial considerable en infraestructura tecnológica, así como la capacitación adecuada del personal para su correcta operación y mantenimiento (Istiqomah et al., 2020). La transición de un sistema manual a uno automatizado con AIDC no solo implica ajustes tecnológicos, sino también cambios en la estructura interna del almacén, la compatibilidad entre sistemas y la integración de estos nuevos procesos en las operaciones logísticas tradicionales (Istiqomah et al., 2020).

Además, los estudios sugieren que es necesario seguir investigando en áreas críticas como la seguridad de los datos, especialmente en almacenes que manejan información sensible. También se debe prestar atención a la sostenibilidad de las operaciones tecnológicas, y a la mitigación de riesgos asociados con fallos técnicos, lo que podría comprometer el flujo operativo si los sistemas AIDC no se actualizan de manera continua (Kumar et al., 2021, p. 3472). Estos desafíos subrayan la necesidad de desarrollar soluciones robustas que permitan la implementación exitosa de tecnologías AIDC sin comprometer la eficiencia operativa (Tikwayo & Mathaba, 2023).

## 4. Tendencias futuras en AIDC y almacenes inteligentes

En el marco de la industria 4.0, las tecnologías AIDC están evolucionando hacia una integración más avanzada con el internet de las cosas (IoT), la computación en la nube y los robots móviles autónomos (AMRs). Estas innovaciones están transformando los almacenes en espacios inteligentes, donde la recopilación y el análisis de datos en tiempo real optimizan la planificación y la distribución de recursos (Tikwayo & Mathaba, 2023). La automatización de tareas mediante AMRs, combinada con el uso de RFID y sensores IoT, no solo mejora la precisión en la gestión de inventarios, sino que también incrementa la seguridad y la sostenibilidad de las operaciones.

Las investigaciones revisadas indican que la adopción continua de estas tecnologías impactará significativamente la gestión de almacenes en los próximos años. Los futuros desarrollos en conectividad de dispositivos y automatización de procesos permitirán operaciones logísticas más flexibles y reactivas, lo que facilitará una mayor capacidad de respuesta ante los cambios en la demanda del mercado (Kumar et al., 2021, p. 3478). A medida que los almacenes se modernicen, la conectividad y la interoperabilidad entre dispositivos serán claves para mejorar la eficiencia global del sistema logístico (Tikwayo & Mathaba, 2023).

## 5. Ejemplo de aplicación de un sistema RFID de bajo costo

Una implementación de un sistema RFID de bajo costo y basado en tecnologías *open source* que presenta (B. Sai Subrahmanya Tejesh, 2018, p. 3820), se puede lograr utilizando el entorno de desarrollo Arduino IDE junto con la placa de desarrollo NodeMCU ESP8266. Este sistema aprovecha la facilidad de uso del Arduino IDE para programar la NodeMCU, que a su vez es responsable de gestionar la comunicación entre los lectores RFID y un servidor central, como una Raspberry Pi 3. Aunque en esta solución no se emplea un microcontrolador Arduino físico, el uso del Arduino IDE facilita la escritura y carga del código necesario para que el sistema funcione adecuadamente (B. Sai Subrahmanya Tejesh, 2018, p. 3820).

La NodeMCU ESP8266 actúa como el intermediario entre los lectores RFID, programados para leer etiquetas de baja frecuencia (125 kHz), y el servidor, transmitiendo la información a través de una red Wi-Fi. Esto se realiza mediante la configuración de comandos en el IDE de Arduino, que simplifica la interacción con los lectores a través de una interfaz UART. El uso de etiquetas RFID pasivas, debido a su bajo costo y eficiencia, permite que el sistema identifique de manera única los productos o bienes sin necesidad de utilizar fuentes de energía adicionales en las etiquetas, lo que reduce los costos operativos y de mantenimiento (B. Sai Subrahmanya Tejesh, 2018, p. 3820).

La combinación de la NodeMCU ESP8266 y la Raspberry Pi 3 proporciona una plataforma versátil y económica para la gestión de inventarios en tiempo real, ya que la Raspberry Pi 3 no solo recibe los datos capturados por los lectores RFID, sino que también actúa como un servidor web desde donde se pueden consultar los datos almacenados en la base de datos. Este tipo de implementación es particularmente útil en aplicaciones industriales o de pequeña escala que requieren una solución eficiente y de bajo costo para el seguimiento de activos (B. Sai Subrahmanya Tejesh, 2018, p. 3820).

## F. Uso de códigos QR en la gestión de inventarios

Los códigos QR *quick response* se han consolidado como una tecnología eficaz en la identificación automática y captura de datos (AIDC) para la gestión de inventarios. A diferencia de los códigos de barras tradicionales, los códigos QR pueden almacenar una mayor cantidad de datos en un formato bidimensional, permitiendo incluir información detallada sobre cada producto en un solo escaneo (Noguerra Jr, [2023](#)). Esta tecnología permite a los sistemas de inventario identificar productos y actualizar los niveles de stock en tiempo real mediante dispositivos móviles, lo cual elimina la necesidad de escáneres especializados y reduce considerablemente los costos de implementación (Rizqi et al., [2018](#)).

### 1. Ventajas de los códigos QR frente a otras tecnologías

En comparación con los códigos de barras, los códigos QR presentan una serie de ventajas que los hacen especialmente adecuados para la gestión de inventarios. Los códigos QR no solo almacenan más información, sino que también pueden ser leídos desde múltiples ángulos, lo cual aumenta la flexibilidad en operaciones de alta rotación (Shukran et al., [2017](#)). Además, la capacidad de ser escaneados mediante dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes y tabletas, convierte a los códigos QR en una opción asequible y escalable para pequeñas y medianas empresas que buscan optimizar sus procesos sin incurrir en elevados costos de infraestructura (Noguerra Jr, [2023](#)).

A diferencia de la tecnología RFID, que requiere una infraestructura más avanzada y costosa, los códigos QR son fácilmente implementables en cualquier entorno. Esto los convierte en una alternativa atractiva para aplicaciones en las que se requiere un control detallado del inventario pero donde el presupuesto es limitado. Además, los códigos QR son menos susceptibles a interferencias electromagnéticas, lo cual puede afectar la lectura en sistemas RFID (Rizqi et al., [2018](#)).

### 2. Aplicaciones prácticas de los códigos QR en inventarios

Los códigos QR han demostrado su eficacia en una variedad de aplicaciones dentro de la gestión de inventarios. En un entorno minorista, Rizqi et al. ([2018](#)) implementaron un sistema en el cual cada producto estaba etiquetado con un código QR, permitiendo su seguimiento a lo largo de toda la cadena de suministro. Esta implementación no solo facilitó la actualización inmediata de los niveles de inventario, sino que también mejoró la precisión al reducir las discrepancias entre el inventario registrado y el inventario físico.

En el ámbito de laboratorios, los códigos QR han sido utilizados para gestionar inventarios de productos químicos, permitiendo un control seguro y preciso de materiales peligrosos. Shukran et al. ([2017](#)) documentan que, mediante el uso de etiquetas QR, el personal de laboratorio pudo monitorear las cantidades y ubicaciones de los productos de forma eficiente, lo que redujo el riesgo de errores humanos y mejoró el cumplimiento de normas de seguridad.

### 3. Impacto de los códigos QR en la eficiencia operativa

La implementación de sistemas de inventario basados en códigos QR ha mostrado mejoras significativas en la eficiencia operativa, particularmente en cuanto a la facilidad de uso y la adaptabilidad del sistema. En una evaluación de sistemas móviles, se reportó que los usuarios encontraron que los códigos QR facilitaban un control de inventario ágil y preciso, lo cual ayudó a minimizar las interrupciones en el flujo de trabajo (Noguerra Jr, 2023). Además, el uso de códigos QR permite actualizar la base de datos en tiempo real, previniendo desabastecimientos y optimizando los niveles de inventario según las necesidades actuales del negocio. La modularidad y escalabilidad de estos sistemas también han sido beneficiosas para empresas que operan en entornos de alta variabilidad, permitiéndoles adaptarse rápidamente a las fluctuaciones de demanda (Noguerra Jr, 2023).

### 4. Perspectivas futuras en el uso de códigos QR

Con el avance de la industria 4.0, los códigos QR están evolucionando hacia aplicaciones más complejas, integrándose con el internet de las cosas (IoT) y otros sistemas de captura de datos para crear un ecosistema conectado y eficiente en la gestión de inventarios. Esto permitirá no solo la identificación y localización de productos en tiempo real, sino también la monitorización de condiciones de almacenamiento específicas, como temperatura y humedad, en productos sensibles (Noguerra Jr, 2023). Se prevé que la implementación de códigos QR en combinación con tecnologías avanzadas de IoT y análisis de datos ampliará su alcance, haciendo posible una gestión de inventarios aún más precisa y automatizada.

## G. Internet de las cosas (IoT) en la gestión de almacenes

El internet de las cosas (IoT) ha sido un pilar fundamental en la transformación digital de los almacenes, especialmente en el contexto de la industria 4.0, donde la interconexión de dispositivos y sistemas ha optimizado las operaciones logísticas (Kumar et al., 2021). A través de tecnologías como RFID, sensores inteligentes y sistemas de localización como el GPS, el IoT permite el monitoreo continuo y en tiempo real de los inventarios, mejorando la visibilidad y el control sobre los flujos de productos dentro del almacén (Tikwayo & Mathaba, 2023). Estas soluciones permiten la recolección de datos operativos de manera precisa, lo que facilita una mejor gestión de la demanda y reduce significativamente los errores en la operación (Jarašūnienė et al., 2023). La capacidad de acceder a información en tiempo real también mejora la capacidad de respuesta de las empresas ante fluctuaciones en la demanda del mercado, optimizando la eficiencia operativa.

### 1. Aplicaciones prácticas del IoT en almacenes

En el ámbito de la logística y la gestión de almacenes, el IoT permite optimizar tareas operativas a través de sensores que monitorean en tiempo real el estado y la ubicación de productos específicos. Habsi et al. (2023) implementaron un sistema basado en sensores IoT en almacenes de una cadena de suministro, lo cual resultó en una mejora del 15 %

en la precisión del inventario y en la disminución de productos fuera de lugar. Además, la integración de sensores de temperatura y humedad ha sido efectiva en la gestión de almacenes de productos sensibles, como alimentos y productos farmacéuticos, donde la calidad y la seguridad son críticas (Gan Jhui Ken, [2023](#)).

## 2. Integración con *machine learning* (ML) e IA

La combinación de *machine learning* (ML) y el IoT en almacenes permite aprovechar los datos generados por los dispositivos conectados para mejorar la precisión en la predicción de demanda y la gestión del inventario. Los algoritmos de ML, aplicados sobre datos en tiempo real recopilados mediante sensores IoT y etiquetas RFID, permiten identificar patrones de comportamiento en la rotación de inventarios, optimizando la disposición de productos en función de la demanda proyectada (Sindhuja CNC et al., [2022](#)).

Una aplicación destacada es el uso de códigos QR en combinación con ML para rastrear y analizar patrones de consumo en almacenes. Por ejemplo, Noguerra Jr ([2023](#)) desarrollaron un sistema en el que los productos etiquetados con códigos QR son escaneados en cada fase del proceso logístico. Los datos recopilados de estos escaneos se integran en modelos de ML que ayudan a predecir la demanda futura, permitiendo ajustes automáticos en el stock y una mejora en la planificación del inventario. Esta implementación ha demostrado reducir significativamente los costos de almacenamiento y minimizar los tiempos de reabastecimiento.

## 3. Desafíos y consideraciones de seguridad

Aunque ya se ha destacado la importancia de la ciberseguridad en sistemas interconectados (Tikwayo & Mathaba, [2023](#)), es crucial enfatizar los riesgos adicionales que el uso del IoT introduce en términos de seguridad de datos. Los dispositivos conectados, al estar expuestos a redes externas, son vulnerables a ataques cibernéticos, lo que obliga a las empresas a implementar medidas de seguridad avanzadas para garantizar la integridad y confidencialidad de la información sensible (Jarašūnienė et al., [2023](#)).

Este reto es particularmente relevante en organizaciones de gran escala, donde la cantidad de dispositivos conectados y el volumen de datos generan mayores complejidades en los sistemas de seguridad (Kumar et al., [2021](#)). En este sentido, se vuelve fundamental adoptar protocolos de seguridad que no solo protejan los sistemas IoT, sino que también permitan una rápida detección y respuesta ante posibles amenazas.

## 4. Impacto del IoT según el tamaño de la empresa

El impacto del IoT en la gestión de almacenes varía significativamente según el tamaño de la empresa. Investigaciones previas indican que las grandes corporaciones, debido a su capacidad de inversión y escala operativa, obtienen un retorno de inversión más rápido al implementar estas tecnologías (Rana, [2023](#)). En cambio, las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) enfrentan mayores desafíos, especialmente en términos de costos iniciales y el

tiempo necesario para alcanzar una recuperación financiera (Jarašūnienė et al., 2023).

No obstante, los beneficios a largo plazo, como la disminución de errores en el inventario y la optimización del servicio al cliente, son igualmente significativos para las PYMEs (Jarašūnienė et al., 2023). A medida que estas empresas adoptan el IoT, también pueden mejorar su competitividad en el mercado, aunque deben planificar cuidadosamente la inversión para minimizar riesgos financieros.

## 5. Ejemplo de implementación en un almacén automatizado

Un ejemplo destacado de implementación de IoT en la gestión de almacenes es el uso de dispositivos conectados para monitorizar el estado y ubicación de inventarios en tiempo real en almacenes automatizados. Aluguri et al. (2023) aplicaron sensores y etiquetas RFID en un almacén de componentes industriales, lo cual permitió reducir en un 20% el tiempo de preparación de pedidos mediante una automatización efectiva del *picking*. Además, la información obtenida en tiempo real ayudó a optimizar el flujo de trabajo y a ajustar el stock de acuerdo con la demanda actual, minimizando el riesgo de desabastecimiento y mejorando la eficiencia general del almacén.

## H. Tecnología de estanterías móviles en la gestión de almacenes

La tecnología de estanterías móviles ha demostrado ser una solución avanzada para la optimización del espacio en almacenes, especialmente en áreas donde el espacio es un recurso limitado, como los almacenes de almacenamiento en frío. A diferencia de los sistemas de racks estáticos, los racks móviles se desplazan sobre rieles, permitiendo que solo un pasillo esté abierto al mismo tiempo. Este diseño puede aumentar el uso del espacio hasta en un 75%, lo que se traduce en una capacidad de almacenamiento significativamente mejorada (Liu et al., 2020, p. 96).

Además de maximizar el uso del espacio, los sistemas de racks móviles permiten una mayor flexibilidad en el diseño del almacén. Mediante el uso de simulaciones, se puede determinar un diseño óptimo que no solo optimiza la eficiencia espacial, sino también la eficiencia operativa. Esto incluye la minimización de los costos de operación y la reducción del tiempo necesario para las actividades de *picking* (Liu et al., 2020, p. 98). Los beneficios también se extienden a la reducción del consumo energético, lo que resulta especialmente relevante en almacenes que requieren estrictos controles ambientales, como los de almacenamiento en frío (Liu et al., 2020, p. 99).

La integración de estos sistemas con la planificación del movimiento de vehículos dentro del almacén es otro aspecto crítico. La capacidad de coordinar el movimiento de los racks con la programación de vehículos reduce la interferencia y aumenta la eficiencia general de las operaciones del almacén (Liu et al., 2020, p. 100). Este enfoque colaborativo asegura un flujo de trabajo más fluido, reduciendo los costos operativos y mejorando los tiempos de respuesta.

### A. Descripción general del enfoque metodológico

El presente trabajo de graduación se fundamenta en el enfoque de Ingeniería de Sistemas propuesto por la *NASA Systems Engineering Handbook* (NASA SP-2016-6105 Rev2), el cual proporciona una estructura metodológica robusta y escalable para el desarrollo de sistemas complejos. Dicho enfoque permite descomponer y resolver el problema planteado mediante un proceso iterativo y ordenado de fases, cada una con objetivos y entregables claramente definidos. Esta metodología ha sido adaptada al contexto de una microempresa del sector ortoprotésico con el propósito de desarrollar un sistema de gestión de inventarios que permita optimizar el control, ubicación y seguimiento de productos.

El proyecto se desarrolla a través de siete fases principales, que responden a la lógica del ciclo de vida de sistemas: investigación y análisis inicial, definición de requisitos, diseño del sistema y redistribución del espacio, implementación física, desarrollo del sistema digital, pruebas funcionales y validación, y finalmente documentación y ajustes finales. Cada fase ha sido diseñada considerando las necesidades particulares de la empresa, así como la naturaleza del inventario: productos individuales, sin códigos de barras preimpresos, con diferentes frecuencias de rotación y almacenados en un espacio físico limitado.

Además, se ha incorporado una combinación de herramientas tecnológicas (Retool, Replit, PostgreSQL y Python) y principios de gestión de inventarios, tales como clasificación por rotación (método ABC), sistemas de escaneo por código QR, y rediseño físico de la bodega conforme a criterios de accesibilidad y eficiencia operativa. Este enfoque permite abordar simultáneamente aspectos físicos (distribución de bodega) y digitales (sistema de registro e interfaz de usuario), lo cual resulta esencial para garantizar la trazabilidad, precisión y mejora continua del sistema propuesto.

El seguimiento de cada etapa metodológica se apoya en métricas cuantitativas como la precisión del inventario, la rotación de productos, el tiempo de registro de entradas y salidas, así como métricas cualitativas orientadas a la experiencia del usuario, sin recurrir a encuestas, como el análisis de errores recurrentes y consistencia de la base de datos.

La justificación de cada decisión tomada, desde la elección de herramientas tecnológicas hasta la metodología de redistribución del almacén, se basa en criterios técnicos, operativos y económicos, buscando siempre maximizar el valor agregado para la empresa con el menor costo de implementación posible. Esta orientación asegura que el sistema desarrollado no solo sea técnicamente viable, sino también sostenible y adaptable a futuro.

## **B. Fase 1: diagnóstico del sistema actual de inventario y condiciones del almacén**

**Objetivo de la fase:** evaluar el estado inicial del proceso de gestión de inventarios, así como las condiciones físicas del espacio de almacenamiento, con el fin de identificar limitaciones operativas, de trazabilidad y distribución que justificaran las intervenciones posteriores tanto a nivel físico como digital.

### **1. Revisión del proceso actual de registro de inventario**

El diagnóstico inició con el análisis del sistema utilizado para llevar el control de entradas y salidas de productos. Se observó que el proceso consistía en un registro manual sobre papel, el cual posteriormente era replicado en hojas de cálculo digitales mediante la herramienta Google Sheets. Esta metodología implicaba una doble digitación y una alta dependencia de la disponibilidad y precisión de los operarios para mantener la coherencia entre el inventario físico y el digital.

Asimismo, se documentó que el sistema carecía de actualizaciones en tiempo real y no permitía visualizar de forma inmediata las existencias actuales. La información ingresada en la hoja digital no era verificada automáticamente ni respaldada en una base de datos estructurada, lo cual generaba vulnerabilidad ante errores de transcripción o pérdida de datos.

### **2. Evaluación de los métodos informales de trazabilidad**

Paralelamente, se identificaron mecanismos informales empleados para comunicar los movimientos de inventario entre los operarios y el área administrativa. Entre estos, se encontraba el uso de fotografías enviadas por mensajería instantánea (como WhatsApp) y anotaciones improvisadas en hojas sueltas. Este tipo de comunicación no estructurada aumentaba el riesgo de omisiones, duplicidades y discrepancias entre lo registrado y la realidad física.

La ausencia de un protocolo estandarizado de trazabilidad y la falta de asignación úni-

ca de ubicaciones para los productos dificultaban la identificación rápida de las unidades almacenadas, afectando directamente la eficiencia de las operaciones cotidianas.

### 3. Inspección del entorno físico de almacenamiento

La evaluación de la distribución física reveló una disposición empírica y desorganizada de los productos dentro de la bodega. No existía una lógica espacial clara ni una señalización visible que facilitara la localización. Las estanterías estaban ocupadas de forma desigual, algunas zonas estaban sobrecargadas, mientras que otras permanecían subutilizadas.

Se observó también la presencia de *pallets* en el suelo sin codificación ni delimitación de áreas, lo que impedía un tránsito fluido y seguro del personal. La ausencia de rotulación dificultaba el acceso rápido a productos específicos y generaba dependencia del conocimiento informal de los operarios para encontrar artículos.

### 4. Principales hallazgos y fundamento para fases posteriores

Del análisis se derivaron tres hallazgos clave:

- No existía un sistema centralizado ni actualizado en tiempo real para el control del inventario.
- La gestión de información dependía en exceso de mecanismos informales y del conocimiento tácito del personal operativo.
- La distribución física carecía de criterios ergonómicos, de señalización y lógica espacial, afectando la eficiencia y seguridad de las operaciones.

Estos hallazgos fundamentaron la necesidad de intervenir de forma integral tanto el sistema digital como el entorno físico de la bodega. A partir de este diagnóstico se definieron los requerimientos que orientarían las fases siguientes, incluyendo el rediseño físico del almacén (Fase **E**) y la implementación del sistema de gestión digital (Fase **F**).

## C. Fase 2: definición de requisitos del sistema

La definición de requisitos se realizó con base en observaciones directas, entrevistas a operadores y análisis del inventario físico y datos históricos. Como resultado, se identificaron necesidades clave en dos áreas: la organización física de la bodega y la gestión digital del inventario. Entre los principales requisitos se encuentran: mejorar la accesibilidad a productos de alta rotación, implementar un sistema digital con lectura de códigos QR, establecer alertas automáticas para niveles mínimos de inventario, y garantizar la identificación clara de ubicaciones mediante una nomenclatura alfanumérica. Estos requerimientos, documentados previamente en un capítulo específico, sirvieron como base para el diseño técnico del sistema y la reorganización del espacio de almacenamiento.

## D. Fase 3: diseño del sistema y redistribución del espacio

**Objetivo de la fase:** diseñar una estructura física y lógica optimizada para el almacenamiento y acceso eficiente a los productos, basándose en el análisis de rotación de inventarios y la categorización ABC de productos ortoprotésicos.

### 1. Análisis de rotación y clasificación ABC

Se realizó un análisis de rotación de productos a partir del historial de ventas de la empresa, correspondiente al período entre mayo de 2023 y noviembre de 2024. Aplicando el principio de Pareto, se clasificaron los artículos en tres categorías: A, B y C, según su frecuencia de movimiento. Esta categorización facilitó la priorización operativa del inventario, siguiendo criterios de frecuencia de uso en lugar de valor monetario, como suele ser tradicional (AR Racking Inc., 2025).

El proceso de clasificación inició agrupando los productos por su nombre funcional principal y, posteriormente, subdividiéndolos en subcategorías basadas en su tamaño o presentación específica. Esta estrategia permitió un control detallado y flexible, adaptado a la naturaleza personalizada de los productos ortoprotésicos.

Fragmentos representativos de esta clasificación se presentan en el Cuadro 4 para las categorías generales y en el Cuadro 5 para las subcategorías de alta rotación.

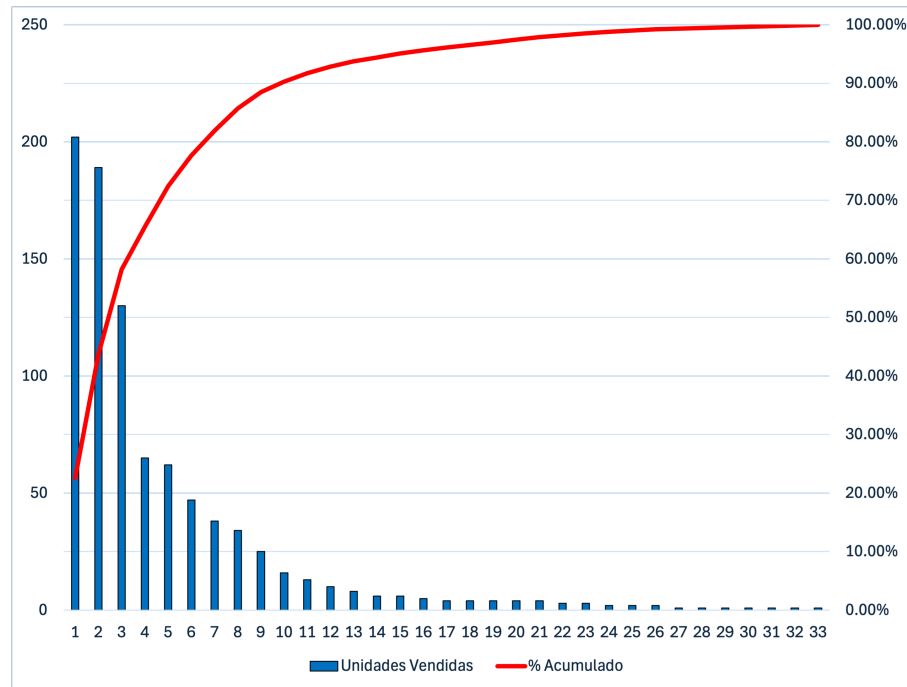
Cuadro 4: Clasificación ABC y curva de Pareto de productos por categoría en el sistema previo (mayo 2023–noviembre 2024)

ID	Descripción	% Demanda	% Acumulado	Categoría
1	Polipropileno Natural	22.57 %	22.57 %	A
2	Liner	21.12 %	43.69 %	A
3	Articulación de Tobillo con Asistencia a la Dorsiflexión	14.53 %	58.21 %	A
4	Velcro	7.26 %	65.47 %	A
5	Copolímero Natural	6.93 %	72.40 %	A

*Fuente: elaboración propia.*

El contenido del Cuadro 4 refleja cómo una pequeña proporción de artículos concentra la mayor parte de la rotación dentro del inventario. Tal como se observa, los primeros siete productos, todos clasificados como categoría A, representan aproximadamente el 82 % del movimiento total de unidades. Este patrón de distribución justifica la aplicación del análisis ABC con base en frecuencia de salida, ya que permite focalizar recursos y atención en los artículos más dinámicos. La categorización obtenida se visualiza de forma acumulativa en la Figura 1, la cual muestra la curva tipo Pareto que caracteriza el comportamiento operativo de este inventario ortoprotésico.

Figura 1: Curva de Pareto y clasificación ABC de productos por categoría (mayo 2023–noviembre 2024)



Fuente: elaboración propia.

La Figura 1 muestra la curva de Pareto asociada al análisis ABC de productos por categoría, correspondiente al periodo comprendido entre mayo de 2023 y noviembre de 2024. En ella se representa la participación acumulada de los productos en función de su rotación, permitiendo identificar visualmente los artículos que concentran la mayor proporción de movimientos dentro del inventario y respaldando la categorización ABC detallada en el Cuadro respectivo.

Cuadro 5: Clasificación ABC y curva de Pareto de productos por subcategoría en el sistema previo (mayo 2023–noviembre 2024)

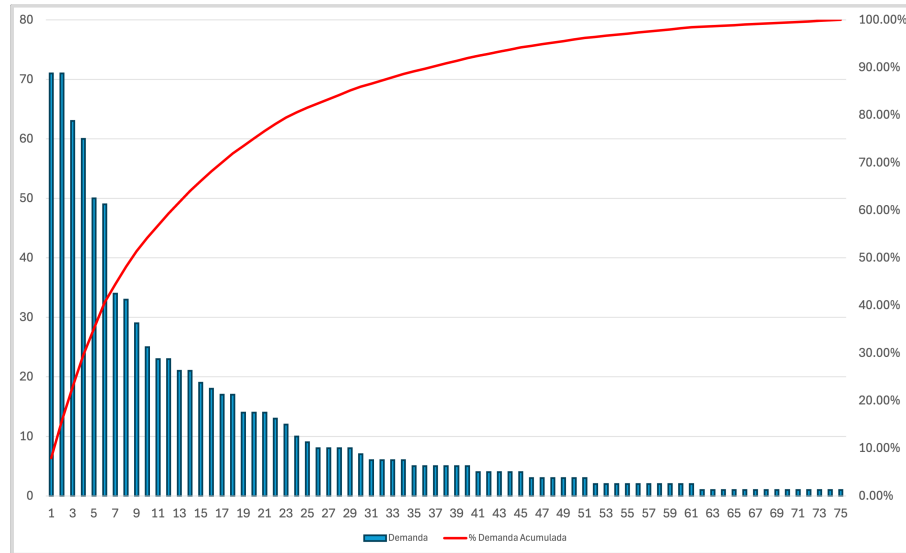
ID	Descripción	% Demanda	% Acumulado	Categoría
1	Polipropileno Natural de 3 mm o 1/8"	7.93 %	7.93 %	A
2	Polipropileno Natural de 5 mm o 3/16"	7.93 %	15.87 %	A
3	Articulación de Tobillo con Asistencia a la Dorsiflexión, Grande, 75	7.04 %	22.91 %	A
4	Polipropileno Natural de 6 mm o 1/4"	6.70 %	29.61 %	A
5	Liner 32	5.59 %	35.20 %	A

Fuente: elaboración propia.

El desglose por subcategoría permitió identificar con mayor detalle cuáles presentaciones específicas de cada producto concentran la mayor rotación. Como se aprecia en el Cuadro 5, más del 80 % de la demanda acumulada está concentrada en solo 28 subcategorías, todas clasificadas como tipo A. Esta información fue crucial para definir estrategias de ubicación

diferenciada dentro de la bodega.

Figura 2: Curva de Pareto y clasificación ABC de productos por categoría (mayo 2023–noviembre 2024)



Fuente: elaboración propia.

La Figura 2 ilustra gráficamente la clasificación ABC por subcategoría de productos ortoprotésicos, complementando la información presentada en el Cuadro 5. Esta representación visual permite apreciar la concentración de la rotación en un grupo reducido de subcategorías, lo que respalda la necesidad de establecer estrategias de ubicación diferenciada dentro de la bodega.

## 2. Redistribución del inventario en el almacén

Con base en la clasificación ABC, se redefinieron las zonas de almacenamiento dentro de la bodega:

- Los productos de alta rotación (categoría A) fueron colocados cerca de la salida para facilitar su acceso inmediato.
- Los productos de rotación media (categoría B) se almacenaron en áreas intermedias.
- Los productos de baja rotación (categoría C) se reubicaron en las zonas más alejadas del flujo principal.

Esta lógica de distribución responde a principios de eficiencia operativa y ergonomía, buscando minimizar tiempos de búsqueda y desplazamiento durante el *picking*.

### 3. Selección y asignación de estanterías

Se seleccionaron e instalaron cinco estanterías de tres tipos distintos, conforme al nivel de rotación asignado a cada zona. El Cuadro 6 resume las características técnicas de las estanterías utilizadas.

Cuadro 6: Tipos de estanterías y zonas asignadas

Tipo	Unidades	Capacidad por nivel (kg)	Niveles	Dimensiones (mm)
Tipo 1	2	900	4	1830 × 1956 × 610
Tipo 2	2	250	5	1800 × 1200 × 450
Tipo 3	1	350	5	1830 × 1200 × 600

Fuente: elaboración propia con datos técnicos de los proveedores.

Las estanterías tipo 1, de alta capacidad, se asignaron para el almacenamiento de planchas de polipropileno, cuyas dimensiones son aproximadamente 2000 mm × 1000 mm y pesos de 2 kg a 5 kg por unidad. Se dejó un espacio frontal libre de al menos 2500 mm para facilitar su extracción segura, conforme a recomendaciones de diseño ergonómico para manipulación de piezas largas (Romero & Paredes, 2020).

### 4. Diseño de pasillos y condiciones de circulación

El ancho de los pasillos fue establecido considerando las limitaciones físicas del recinto y las mejores prácticas de seguridad. Se definieron tres rangos de circulación diferenciados, según la naturaleza de la actividad realizada en cada zona:

- **475 mm:** utilizados como mínimo operativo en áreas con opción de abrir una segunda puerta que amplía temporalmente el espacio disponible.
- **500 mm:** empleados en zonas de tránsito exclusivo del personal, donde no se realiza carga ni manipulación intensiva.
- **900 mm:** implementados en áreas de *picking* intensivo o acceso frecuente, siguiendo las recomendaciones del *International Building Code* para espacios de baja concurrencia (Strom et al., 2013).

Esta distribución permitió asegurar la circulación segura del personal, reducir interferencias durante las maniobras y garantizar la eficiencia operativa en la manipulación de productos.

## E. Fase 4: redistribución física del almacén y adecuación del espacio

**Objetivo de la fase:** ejecutar la reorganización física del espacio de almacenamiento, desplazando estanterías y productos conforme a la lógica de rotación ABC definida previa-

mente. Esta fase buscó optimizar la disposición física de la bodega y facilitar condiciones adecuadas para la futura implementación del sistema digital de gestión de inventarios.

## 1. Despeje del espacio de trabajo

Se inició la fase retirando la totalidad de los productos de las estanterías para permitir su reubicación. Las estanterías tipo 1 y tipo 3 no cuentan con ruedas, por lo que fue indispensable vaciarlas completamente para su desplazamiento. Las estanterías tipo 2, al tener rodos, fueron movilizadas con menor esfuerzo, pero también fueron descargadas por seguridad. Esta acción permitió reorganizar la bodega desde un espacio completamente libre de obstáculos, garantizando así un entorno seguro para los operarios durante el proceso.

## 2. Reubicación de estanterías y colocación del inventario

Las estanterías fueron redistribuidas según el criterio de rotación (alta, media y baja), colocando los productos de clasificación A en la zona próxima a la salida sobre estanterías de mayor capacidad, con apilado vertical de planchas y un espacio frontal libre de al menos 2500 mm para su extracción segura, conforme a recomendaciones de diseño ergonómico para piezas largas y flexibles (Romero & Paredes, 2020). En coherencia con dichas recomendaciones y con las indicaciones de seguridad vigentes, se mantuvieron pasillos despejados y radios de giro suficientes para evitar atrapamientos y colisiones durante la maniobra de retiro y traslado interno.

Adicionalmente, se consideró la condición operativa del recinto por la cual la persiana frontal permanece abierta de manera permanente; esto permitió integrar el pasillo exterior de 1.5 m como holgura funcional de la maniobra de extracción, limitando el requerimiento interior a 1.61 m correspondientes a desde la puerta hasta la posición de extracción de las planchas. Esta decisión preserva el criterio de extracción segura indicado anteriormente y no reduce el ancho libre mínimo frente a las estanterías, sino que lo complementa al aprovechar el espacio exterior regulado por la norma interna del recinto (Romero & Paredes, 2020).

## 3. Diseño de pasillos y condiciones de circulación

El ancho de los pasillos fue definido considerando las limitaciones físicas del recinto. Se estableció un mínimo operativo de 475 mm, correspondiente a una zona donde puede abrirse una segunda puerta para ampliar el espacio de trabajo en caso necesario. Los pasillos de 500 mm fueron utilizados únicamente en zonas de tránsito exclusivo del personal. Para las zonas de *picking* activo, se implementaron pasillos de hasta 900 mm, conforme a las recomendaciones del *International Building Code* para áreas de baja concurrencia (Strom et al., 2013).

## 4. Preparación de las estanterías para la identificación posterior

Las posiciones de almacenamiento fueron etiquetadas con códigos alfanuméricos visibles a un metro de distancia. Estas etiquetas servirán como base para la posterior asignación de códigos QR en la fase de implementación digital del sistema. No se utilizó hardware adicional, sino que se proyectó el uso de teléfonos móviles como escáneres, decisión basada en su disponibilidad y bajo costo. Zhou (2020) señalan que el uso de códigos QR escaneados mediante dispositivos móviles ha demostrado ser una alternativa viable a los escáneres industriales, ofreciendo ventajas en términos de escalabilidad, economía y facilidad de implementación.

Concluida la preparación física de las estanterías y verificada la seguridad de acceso y maniobra, se procedió a formalizar el esquema de identificación de ubicaciones. A continuación, se describe la nomenclatura adoptada (formato A1-N1) y su integración con las etiquetas QR y la base de datos de ubicaciones.

Se adoptó una nomenclatura compacta basada en dos componentes [Estantería]-[Nivel]. La estantería se identifica con una letra seguida de un número correlativo (p. ej., A1, B2), donde la letra denota la zona definida en la *distribución* y el número el anaquel dentro de esa zona; el nivel se expresa como N1, N2, ... de abajo hacia arriba. El código completo se registra como A1-N1, A1-N2, etc. Cada código es único, se imprime en etiqueta con código QR y se vincula a la tabla *ubicaciones*; la aplicación utiliza dicho identificador como *locationID* en la *URL* para filtrar existencias y registrar movimientos.

## 5. Validación de la capacidad de almacenamiento

Se proyectó almacenar un total de 200 planchas distribuidas en partes iguales entre homopolímero (densidad aproximada de  $0.906 \text{ g/cm}^3$ ) y copolímero (densidad aproximada de  $0.905 \text{ g/cm}^3$ ), valores típicos para materiales poliméricos de uso industrial (INEOS Olefins & Polymers USA, 2014). La distribución por espesores se definió según las proporciones históricas de ventas de la empresa: 30% de planchas de 3 mm, 50% de 5 mm, 10% de 2 mm y 5% para cada espesor de 4 mm y 6 mm, alcanzando un peso total combinado de 1,485.02 kg.

Este peso previsto se mantiene por debajo del límite estructural máximo especificado para cada nivel de las estanterías, que es de 1,800 kg. Considerando que cada estantería cuenta con cuatro niveles, la capacidad combinada máxima alcanza los 3,600 kg (Ferretería EPA S.A., s.f.). Por lo tanto, el peso proyectado otorga un margen de seguridad absoluto de aproximadamente 315 kg, lo que representa un margen relativo del 17.5%, asegurando condiciones operativas seguras, sostenibles y dentro de parámetros recomendados para evitar riesgos estructurales a largo plazo.

## 6. Cálculo del incremento de área disponible

La verificación del incremento de área disponible se realizó considerando únicamente la superficie útil a nivel de suelo, excluyendo los volúmenes ocupados por estanterías y mobiliario. Para ello se empleó la herramienta *Hatch* o Área de AutoCAD, que permite

obtener las áreas precisas de las zonas seleccionadas. Las áreas del diseño previo y del diseño nuevo fueron comparadas directamente, determinando así la diferencia absoluta y el porcentaje de mejora logrado en la redistribución.

## **F. Fase 5: desarrollo e implementación del sistema digital y prueba inicial**

**Objetivo de la fase:** desarrollar e implementar un sistema digital de gestión de inventarios (IMS) que permita registrar, consultar y controlar los movimientos de productos ortoprotésicos dentro de la bodega, mediante el uso de tecnologías interrelacionadas como PostgreSQL, Retool y Replit. Esta fase incluyó el diseño funcional del sistema, la construcción de la base de datos, el desarrollo de la interfaz gráfica, la configuración de códigos QR y la ejecución de pruebas con productos virtuales de alta rotación.

### **1. Diseño del flujo funcional del sistema**

El diseño funcional del sistema inició con la elaboración de un diagrama general que permitió identificar las operaciones esenciales del sistema IMS: autenticación de usuario, selección del tipo de transacción (entrada, salida, devolución o consulta), y ejecución de la operación correspondiente. Esta representación ayudó a definir los requerimientos operativos y establecer los puntos críticos de validación.

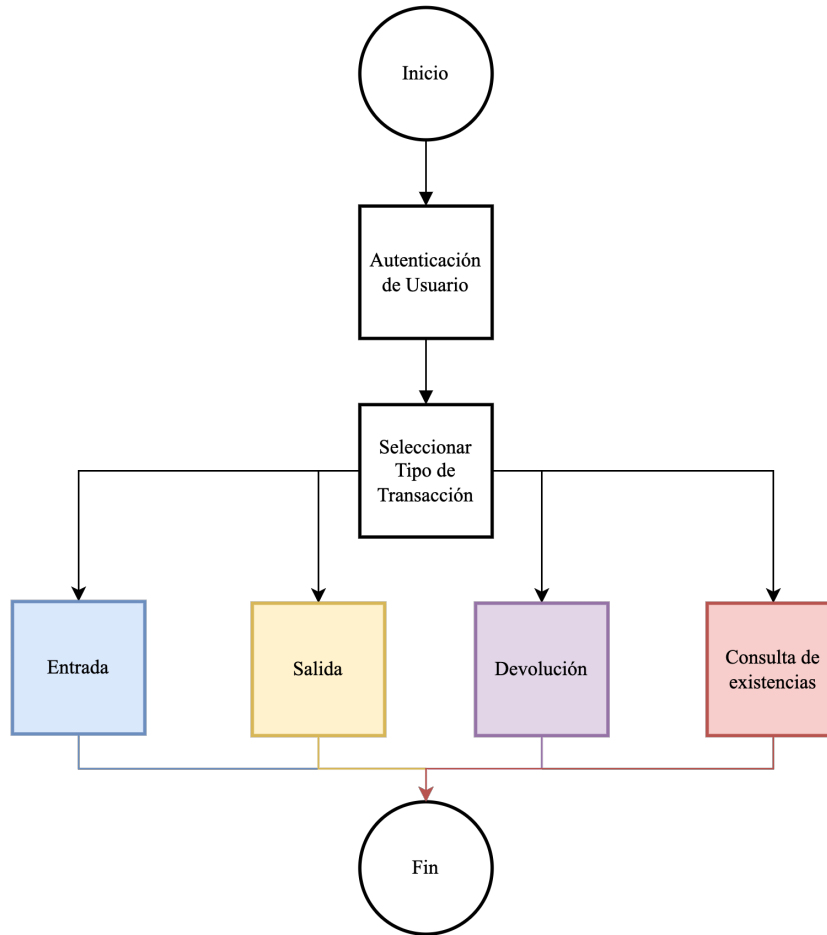


Figura 3: Flujo funcional simplificado del IMS

*Fuente: elaboración propia.*

Además del flujo simplificado mostrado en la Figura 3, se desarrollaron diagramas funcionales individuales para cada operación: entrada de productos, salida, devoluciones y consultas. Estos diagramas se encuentran incluidos en el anexo A, y sirvieron para estructurar la lógica interna del sistema, definiendo validaciones, condiciones de operación y generación de alertas automáticas. Su desarrollo fue clave para garantizar coherencia entre los módulos y una ejecución sin errores del sistema en tiempo real.

## 2. Módulos funcionales implementados

Cada uno de los procesos clave del sistema fue diseñado de forma modular, con una interfaz diferenciada para entradas, salidas, devoluciones y consultas. A continuación se describe la lógica funcional de cada módulo. Los diagramas de flujo detallados se presentan en los anexos (véanse Figuras 31, 32, 33 y 34).

## Entradas

El módulo de entradas permite registrar el ingreso de nuevos productos al sistema o la reposición de productos ya existentes. El proceso inicia con la búsqueda del producto en la base de datos. Si ya existe una combinación producto–ubicación, el sistema actualiza la cantidad registrada en la tabla `inventario`. En caso contrario, se despliega un formulario donde se puede ingresar un nuevo registro con su ubicación, nivel de inventario mínimo, costo y demás atributos asociados. La transacción se almacena en la tabla `transacciones` y se replica en `transacciones_auditoria`, asegurando trazabilidad histórica.

Posteriormente, el sistema verifica si las existencias totales del producto alcanzan o superan el umbral de inventario mínimo. Si están por debajo, se genera automáticamente una alerta visual en la interfaz, acompañada de un correo electrónico al responsable del inventario. Esta lógica se detalla en la Figura [31](#) del anexo correspondiente.

## Salidas

En el módulo de salidas, el operador escanea el código QR correspondiente a una ubicación física específica, lo que permite acceder directamente a los productos almacenados en ese punto. Una vez desplegada la lista de productos disponibles, el usuario selecciona el artículo a retirar e ingresa la cantidad deseada. El sistema valida si existe suficiente inventario disponible; si no lo hay, despliega una alerta indicando insuficiencia. Si la operación es válida, se actualiza la cantidad en la tabla `inventario` y se genera una transacción confirmada en `transacciones`, junto con su réplica en `transacciones_auditoria`.

Como parte del control preventivo, el sistema evalúa automáticamente si las existencias del producto han caído por debajo del mínimo registrado. En caso afirmativo, se emite una alerta visual y un correo electrónico. Esta lógica operativa se puede consultar en el diagrama de flujo en la Figura [32](#).

## Devoluciones

El módulo de devoluciones está diseñado para gestionar el retorno de productos previamente retirados del inventario, asegurando la trazabilidad con la transacción de salida original. Este módulo permite mantener la integridad del sistema al registrar de manera estructurada y diferenciada los productos que reingresan a la bodega, ya sea por error, cancelación o recuperación parcial de stock.

El proceso inicia cuando el operador recibe físicamente el producto devuelto e ingresa al formulario de devoluciones dentro del sistema. En dicho formulario, el usuario selecciona la transacción de salida original asociada al producto a devolver, lo cual garantiza la trazabilidad directa entre la devolución y el movimiento inicial del inventario. A continuación, se registra la cantidad exacta retornada y se describe el estado físico del producto, variable crítica para determinar su disposición posterior.

- Si el producto está en condiciones óptimas, se ejecuta una reversión total o parcial de

la transacción, reintegrando las unidades al inventario normal.

- Si presenta daños o condiciones no aptas, se clasifica como producto defectuoso y se transfiere al inventario de liquidación o desechos, según corresponda.

En ambos casos, se genera una nueva transacción de tipo “devolución” registrada en **transacciones**. Esta lógica funcional se resume en la Figura [33](#).

## Consultas

El sistema cuenta con un módulo de consultas que permite al usuario visualizar en tiempo real las existencias por ubicación, así como los productos categorizados como “en liquidación” o “descartados”. Al iniciar este módulo, el usuario selecciona el tipo de consulta que desea realizar. Luego se ingresan los criterios de búsqueda como nombre de producto, ubicación o categoría, y se despliega la información correspondiente en la interfaz.

Este diseño mejora la accesibilidad del inventario y permite tomar decisiones rápidas sobre disponibilidad o reordenamiento de productos. El flujo correspondiente se muestra en la Figura [34](#).

## 3. Herramientas tecnológicas utilizadas

El desarrollo e implementación del sistema IMS requirió la integración de tres herramientas principales que, en conjunto, permitieron una solución robusta, accesible y modular: Replit como entorno de desarrollo en la nube, PostgreSQL como sistema gestor de base de datos y Retool como plataforma para la construcción de interfaces. La elección de estas herramientas respondió tanto a criterios técnicos como de accesibilidad y escalabilidad, permitiendo una integración fluida entre lógica de programación, almacenamiento de datos e interacción con el usuario.

### Replit: entorno de desarrollo en la nube

Replit es un entorno de desarrollo integrado (*IDE*) basado en la nube, que permite escribir, ejecutar y compartir código directamente desde el navegador, sin requerir instalaciones locales. Su diseño colaborativo y compatibilidad con múltiples lenguajes de programación lo convierten en una herramienta ideal para el desarrollo rápido de prototipos y pruebas de sistemas ligeros. En este proyecto, se utilizó para la creación de scripts en Python orientados a tareas auxiliares del sistema, como la generación de códigos QR y consultas automatizadas sobre la base de datos. Además, facilitó la documentación en línea de scripts y su validación en tiempo real (Replit, [2024](#)).

## Autenticación y gestión de usuarios

El sistema digital de inventarios incorpora un módulo de autenticación basado en inicio de sesión, donde cada usuario debe ingresar con credenciales propias. No obstante, el acceso a la aplicación requiere previamente una invitación explícita por parte del gestor administrativo del sistema, lo que garantiza que únicamente usuarios autorizados puedan interactuar con los módulos y registrar transacciones, fortaleciendo así la seguridad y el control de las operaciones.

Adicionalmente, la plataforma Retool reconoce automáticamente la identidad del usuario autenticado, permitiendo acceder a sus datos como nombre y correo electrónico. Esta información se configura para que quede almacenada en cada transacción realizada, de modo que toda entrada, salida o devolución queda asociada a la persona que la realizó. Este mecanismo facilita la trazabilidad de las operaciones y permite, en caso de auditoría, identificar de manera precisa a los responsables de cada movimiento dentro de la bodega.

## PostgreSQL: gestor de base de datos relacional

PostgreSQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional de código abierto ampliamente reconocido por su fiabilidad, solidez y conformidad con estándares. Posee capacidades avanzadas como soporte de transacciones ACID, integridad referencial y extensibilidad. En este proyecto, PostgreSQL sirvió como eje estructural del sistema, permitiendo almacenar de forma segura la información de productos, ubicaciones, movimientos de inventario y usuarios. Su estructura relacional permitió garantizar la trazabilidad de las operaciones e implementar mecanismos de auditoría efectivos (PostgreSQL Global Development Group, 2024).

## Retool: interfaz gráfica conectada a bases de datos

Retool es una plataforma de desarrollo de interfaces internas que permite construir aplicaciones conectadas a bases de datos y APIs mediante componentes visuales preconstruidos. Su enfoque de bajo código permite a usuarios con conocimientos técnicos intermedios desarrollar flujos de trabajo funcionales sin programación compleja. En el sistema IMS, Retool permitió crear formularios inteligentes para entradas, salidas, devoluciones y consultas, además de integrar escaneo de códigos QR y validaciones dinámicas. Esto hizo posible que el usuario final interactúe con el sistema de forma sencilla, sin requerir conocimientos en SQL o programación (Retool, Inc., 2024).

## Interoperabilidad y ventaja combinada

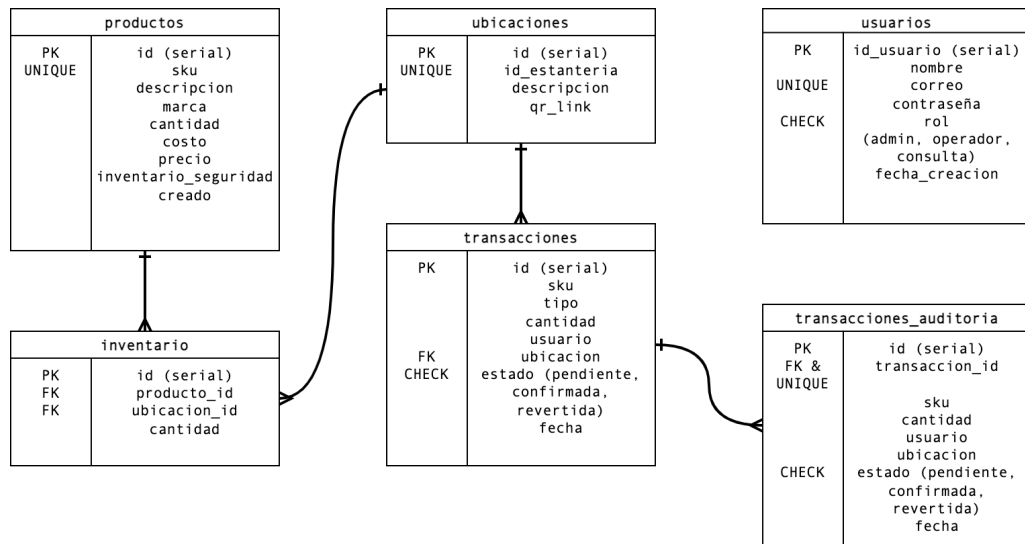
La combinación de estas herramientas ofreció una arquitectura modular, accesible y escalable. Replit aportó agilidad en el desarrollo y pruebas de código; PostgreSQL, una estructura sólida y segura para el almacenamiento; y Retool, una interfaz ágil y adaptable. Esta sinergia tecnológica permitió desarrollar un sistema ajustado a las condiciones operativas del proyecto, con bajo costo de implementación y capacidad de evolución futura.

## 4. Estructura relacional de la base de datos

Con base en el flujo funcional definido para el sistema (véase Figura 3), se procedió al diseño de una base de datos relacional en PostgreSQL, respetando los principios de normalización y consistencia referencial. La base de datos se estructuró en torno a seis tablas principales: `productos`, `ubicaciones`, `inventario`, `transacciones`, `transacciones_auditoria` y `usuarios`, las cuales se encuentran interconectadas mediante claves primarias y foráneas.

La Figura 4 muestra el modelo entidad-relación (ERD) del sistema, donde se aprecia la lógica de relaciones de uno a muchos entre las tablas `productos` y `inventario`, así como entre `ubicaciones` y `inventario`, permitiendo representar múltiples existencias de un mismo producto en distintas ubicaciones físicas. Las transacciones registradas se almacenan tanto en una tabla operativa como en una tabla de auditoría, para garantizar trazabilidad y respaldo histórico. El entorno de desarrollo utilizado para gestionar esta base de datos fue Replit, donde se configuraron los esquemas y se ejecutaron las consultas SQL para crear la estructura con llaves foráneas y restricciones necesarias de cada tabla.

Figura 4: Modelo entidad-relación (ERD) del sistema IMS



Fuente: elaboración propia.

## 5. Interfaz gráfica e integración con Retool

La interfaz gráfica del sistema fue desarrollada utilizando la plataforma Retool, seleccionada por su capacidad de crear aplicaciones internas conectadas directamente a bases de datos relacionales sin requerir conocimientos avanzados de programación. La arquitectura de navegación se diseñó bajo un enfoque modular, en el cual cada operación principal del sistema cuenta con una vista dedicada: entradas, salidas, devoluciones y consultas. A su vez, cada módulo contiene subpáginas especializadas que permiten abordar distintos escenarios operativos.

La Figura 5 presenta el *dashboard* principal del sistema de gestión de inventarios, desde

el cual se accede a todos los módulos funcionales. Este panel constituye la vista inicial al ingresar a la aplicación o al seleccionar el logotipo de la empresa “Ortobility”, permitiendo una navegación centralizada y eficiente hacia cada uno de los componentes del sistema.

Figura 5: *Dashboard* del sistema de inventarios



Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortobility S.A.

La [Figura 6](#) muestra el módulo de ingreso de productos al sistema, el cual permite distinguir entre la incorporación de productos existentes y el registro de productos completamente nuevos. Desde esta interfaz, el usuario puede seleccionar si el artículo a ingresar ya se encuentra registrado en el inventario o si corresponde a un producto del que no se tiene registro previo, facilitando así una gestión precisa y eficiente de las entradas a la bodega.

Figura 6: Módulo de ingreso de productos



Fuente: captura de pantalla reimpressa por cortesía de Retool, con autorización de Ortobility S.A.

El módulo de entrada existente gestiona productos ya registrados mediante una tabla interactiva que muestra todas las ubicaciones en las que se encuentra cada artículo en la bodega; si un producto está presente en múltiples ubicaciones, aparece en varias filas correspondientes. Según se observa en la [Figura 7](#), el operador puede consultar la ubicación específica de cada producto y seleccionar nuevamente esa ubicación para registrar nuevas entradas. La interfaz incluye filtros por SKU, descripción o ubicación y un ícono de lápiz al final de cada fila para acceder al formulario de edición del registro seleccionado.

Figura 7: Vista de tabla en el módulo de entrada existente



The screenshot shows the ORTOBILITY interface with a search bar and a table of products. The table has four columns: SKU, Descripción, Marca, and Ubicación. There are 9 results shown, with a 'Regresar' button at the bottom.

SKU	Descripción	Marca	Ubicación
616T120=3	Plancha de Copolimer Natural de 3mm x 2000mm x 1000mm	Ottobock	A1-N1
616T120=5	Plancha de Copolimer Natural de 5mm x 2000mm x 1000mm	Ottobock	A1-N1
616T120=5	Plancha de Copolimer Natural de 5mm x 2000mm x 1000mm	Ottobock	A1-N3
616T120=5	Plancha de Copolimer Natural de 5mm x 2000mm x 1000mm	Ottobock	B1-N3
AKDTHD44-6	Extreme Liner Locking de HD Gel 44 de 6 mm	Alps	B1-N3
SPDTHD28-6	Superior Performance Liner HD 28 de 6 mm	Alps	A1-N1
SPDTHD28-6	Superior Performance Liner HD 28 de 6 mm	Alps	L1-N1

9 results

Regresar

Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortoability S.A.

Al seleccionar una de las filas de productos en la tabla, se despliega un formulario (Figura 8) que presenta la información relevante del producto, incluyendo la cantidad disponible en la ubicación seleccionada y el total de unidades en inventario. Este formulario permite al usuario ingresar una cantidad específica de producto a la ubicación seleccionada o, alternativamente, registrar la entrada en una nueva ubicación en caso de requerirse. Adicionalmente, el formulario posibilita la actualización del costo y del precio del producto. Si el usuario no modifica estos valores, el sistema mantiene el costo y el precio previamente registrados. Cuando es necesario registrar el ingreso de un mismo lote de producto en distintas ubicaciones, se debe completar el formulario de manera independiente para cada ubicación.

Figura 8: Formulario de entrada de producto existente

**Formulario de entrada**

**Producto: 616T120=3**

Ubicación actuales:  
A1-N1

Descripción:  
Ottobock | Plancha de Copolimer Natural de 3mm x 2000mm x 1000mm

Unidades Disponibles

En Ubicación	20	Total	20
--------------	----	-------	----

Ubicación: Seleccionar

Cantidad a ingresar: #

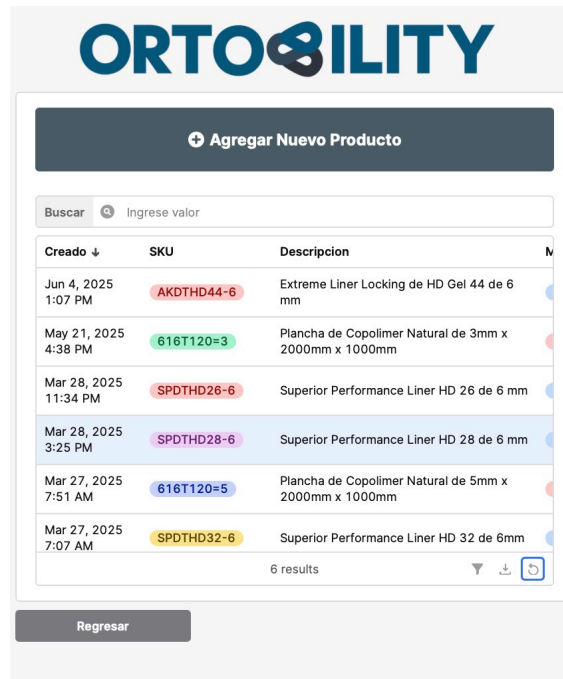
Costo: GTQ

Fecha y hora de ingreso:  
4/6/2025, 5:57:25 a.m.

Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortobility S.A.

El módulo de entrada nueva está destinado al registro de productos que no existen previamente en la base de datos. Este módulo garantiza la unicidad del código SKU asignado a cada producto. La interfaz incluye un botón para agregar un nuevo producto y presenta una tabla que muestra los últimos productos añadidos, así como un campo de búsqueda que permite filtrar registros por descripción o código. Esta funcionalidad permite al usuario verificar que no se registre información duplicada antes de ingresar un nuevo producto, como se ilustra en la [Figura 9](#).

Figura 9: Vista de tabla en el módulo de entrada de producto nuevo



The screenshot shows the ORTOBILITY interface for adding a new product. At the top, there is a dark button labeled '+ Agregar Nuevo Producto'. Below it is a search bar with the text 'Buscar' and 'Ingrese valor'. The main content is a table with columns for 'Creado', 'SKU', and 'Descripcion'. The table lists six products with their respective creation dates and times, SKUs, and descriptions. At the bottom of the table, it indicates '6 results' and has a 'Regresar' button.

Creado ↓	SKU	Descripcion
Jun 4, 2025 1:07 PM	AKDTHD44-6	Extreme Liner Locking de HD Gel 44 de 6 mm
May 21, 2025 4:38 PM	616T120=3	Plancha de Copolimer Natural de 3mm x 2000mm x 1000mm
Mar 28, 2025 11:34 PM	SPDTHD26-6	Superior Performance Liner HD 26 de 6 mm
Mar 28, 2025 3:25 PM	SPDTHD28-6	Superior Performance Liner HD 28 de 6 mm
Mar 27, 2025 7:51 AM	616T120=5	Plancha de Copolimer Natural de 5mm x 2000mm x 1000mm
Mar 27, 2025 7:07 AM	SPDTHD32-6	Superior Performance Liner HD 32 de 6mm

Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortobility S.A.

Al seleccionar el botón para agregar un nuevo producto, el sistema despliega un formulario en el que se deben completar los datos requeridos para el registro, incluyendo la asignación de una ubicación específica dentro del almacén (Figura 10). El registro exige que se ingrese la cantidad total asignada a esa ubicación. Si la capacidad de almacenamiento disponible es insuficiente para la cantidad ingresada, es necesario validar primero el espacio y, posteriormente, registrar el excedente en una ubicación alternativa utilizando el formulario correspondiente al módulo de entrada existente.

Figura 10: Formulario para producto nuevo (vista 1)

Revisar productos agregados

### Formulario de nuevo producto

Fecha de creación  
4/6/2025, 5:57:43 a.m.

Codigo SKU \*

Descripción \*

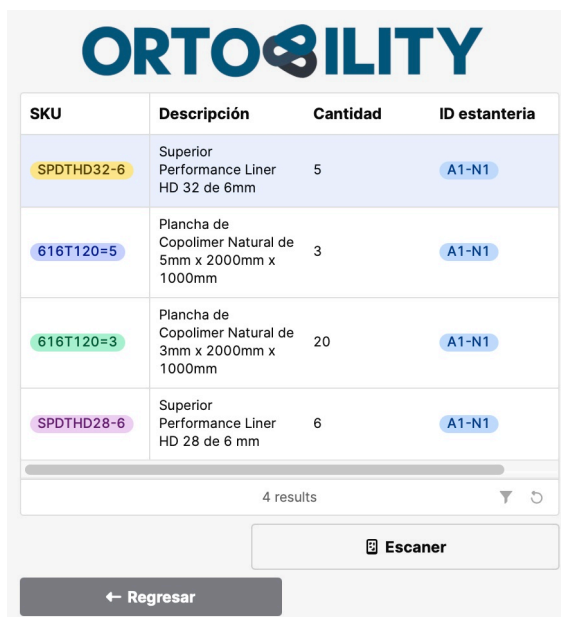
Imagen (URL) \*

¿Añadir una nueva marca?

Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortobility S.A.

El módulo de salidas utiliza una tabla no editable que se muestra únicamente después de que el usuario escanea el código QR correspondiente a una ubicación específica. Este procedimiento filtra de manera automática los productos almacenados en la estantería seleccionada y los presenta en la interfaz. Para cada producto listado, se dispone de un botón que permite abrir un formulario emergente para registrar la cantidad a retirar. El sistema valida que la cantidad ingresada no exceda el inventario disponible en esa ubicación y, de cumplirse esta condición, se registra la transacción correspondiente, como se observa en la [Figura 11](#).

Figura 11: Vista de productos disponibles para retiro



SKU	Descripción	Cantidad	ID estantería
SPDTHD32-6	Superior Performance Liner HD 32 de 6mm	5	A1-N1
616T120=5	Plancha de Copolimer Natural de 5mm x 2000mm x 1000mm	3	A1-N1
616T120=3	Plancha de Copolimer Natural de 3mm x 2000mm x 1000mm	20	A1-N1
SPDTHD28-6	Superior Performance Liner HD 28 de 6 mm	6	A1-N1

4 results

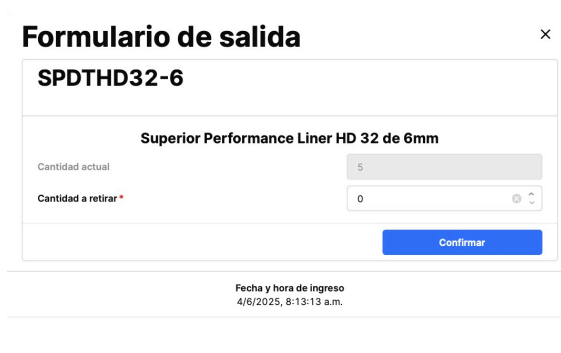
← Regresar

Escaner

Fuente: captura de pantalla reimpressa por cortesía de Retool, con autorización de Ortobility S.A.

Al seleccionar un producto en la tabla del módulo de salidas, el sistema despliega un formulario (Figura 12) que solicita al usuario ingresar la cantidad de unidades que será retirada de la ubicación específica. El usuario debe completar este campo para que el sistema registre la transacción y actualice el inventario correspondiente, reflejando la cantidad extraída de manera precisa.

Figura 12: Formulario de salida funcional



**Formulario de salida** ×

**SPDTHD32-6**

**Superior Performance Liner HD 32 de 6mm**

Cantidad actual: 5

Cantidad a retirar \* : 0

Confirmar

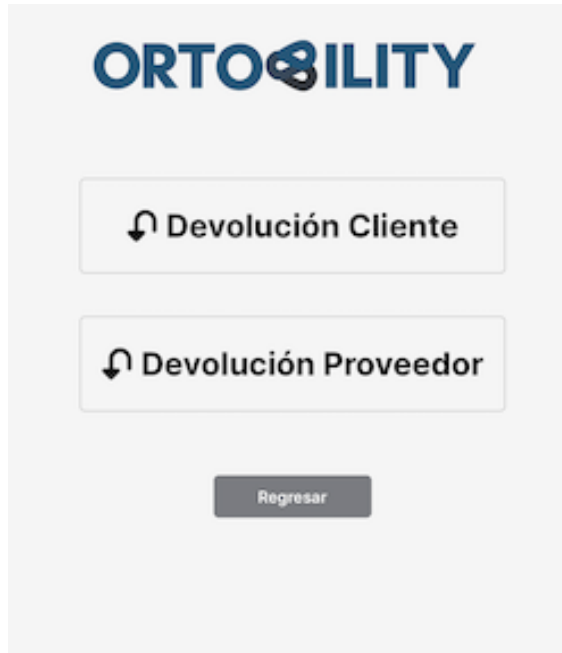
Fecha y hora de ingreso  
4/6/2025, 8:13:13 a.m.

Fuente: captura de pantalla reimpressa por cortesía de Retool, con autorización de Ortobility S.A.

El módulo de devoluciones gestiona tanto las devoluciones provenientes de clientes como las devoluciones realizadas a proveedores. Cuando un cliente devuelve un producto, el procedimiento se realiza conforme a las razones previamente documentadas y aprobadas por la administración. En el caso de los proveedores, si se detecta producto dañado tras haber

sido ingresado a la bodega—por ejemplo, porque no se inspeccionaron todos los empaques primarios—, se utiliza este módulo para registrar la devolución correspondiente al proveedor, como se ilustra en la [Figura 13](#).

Figura 13: Módulo de gestión de devoluciones



Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortobility S.A.

En el módulo de devolución a clientes, el sistema presenta una tabla con las transacciones de salida registradas, como se observa en la [Figura 14](#). Cada transacción posee un estado interno denominado “revertido”; si este estado es falso, la transacción puede ser revertida, mientras que si es verdadero, la transacción ya ha sido revertida y no se muestra en la tabla. El usuario selecciona la fila correspondiente a la transacción que desea gestionar, verificando la fecha y los datos del producto a devolver, lo que da acceso a un formulario específico para procesar la devolución.

Figura 14: Tabla de devoluciones realizadas por clientes



SKU	Marca	Fecha de registro
SPDTHD28-6	Alps	Apr 4, 2025 11:00 PM
SPDTHD28-6	Alps	Apr 4, 2025 11:12 PM
SPDTHD32-6	Alps	Apr 4, 2025 11:16 PM
SPDTHD32-6	Alps	Apr 4, 2025 11:25 PM
SPDTHD28-6	Alps	Apr 4, 2025 11:34 PM
SPDTHD28-6	Alps	Apr 7, 2025 2:16 PM
SPDTHD32-6	Alps	Apr 7, 2025 2:17 PM

Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortobility S.A.

El formulario mostrado en la [Figura 15](#) presenta la información correspondiente a la transacción de salida, incluyendo el producto y la cantidad retirada. El usuario debe definir el motivo de la devolución seleccionando entre opciones predefinidas, o bien especificar una justificación en el campo de “otro motivo” si corresponde. Además, el formulario solicita indicar el estado en que se recibe el producto y el destino asignado: puede devolverse a la ubicación original, enviarse a liquidaciones si el producto es recuperable para reventa, o clasificarse como desecho si está dañado. El sistema únicamente admite devoluciones completas, ya que la transacción original registra el movimiento total de productos y no permite devoluciones parciales.

Figura 15: Formulario de devolución de cliente

**Devolución de cliente**

Fecha de la transacción

Código del producto  
SPDTHD28-6

Cantidad vendida  
2

Ubicación  
A1-N1

Motivo de la devolución \*

¿Por qué el cliente esta devolviendo el producto? ▾

Destino del producto \*

Select an option ▾

Integridad del producto \*

Select an option ▾

Registrar devolución

Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortobility S.A.

En el módulo de consultas, el sistema presenta opciones para visualizar tanto la lista de productos como el historial de transacciones. El usuario puede seleccionar la opción deseada de acuerdo con la información que necesita consultar, como se muestra en la [Figura 16](#).

Figura 16: Vista general del módulo de consultas

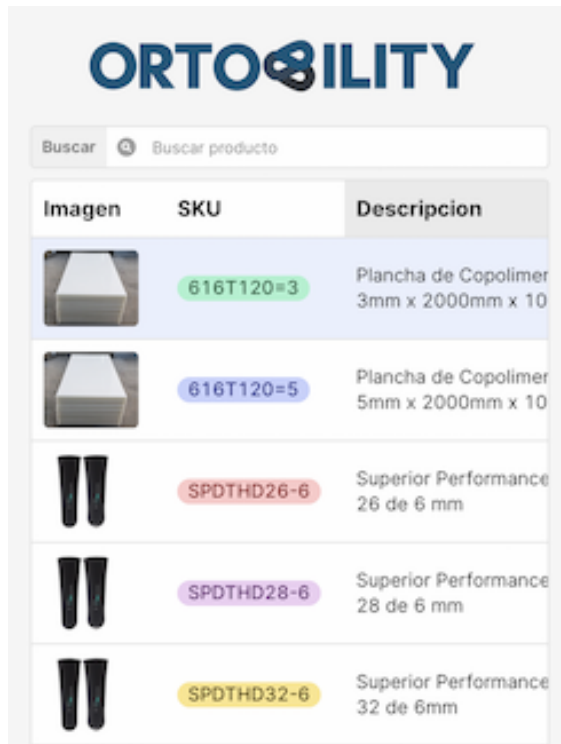


Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortobility S.A.






El módulo de consulta de productos proporciona una visualización general del inventario, presentando los datos principales de cada producto registrado y permitiendo el acceso a información detallada sobre su ubicación y cantidades disponibles.

La vista principal de la consulta de productos, ilustrada en la [Figura 17](#), muestra una tabla con todos los productos registrados en el sistema. Esta tabla incluye la imagen, nombre, código SKU, descripción y la cantidad total disponible de cada producto, lo que permite revisar de manera general el inventario y acceder a información clave sin mostrar los detalles de ubicación física de los productos.

Figura 17: Consulta de productos registrados



The screenshot shows the ORTOBILITY product catalog interface. At the top, there is a search bar with the text "Buscar" and "Buscar producto". Below the search bar is a table with three columns: "Imagen", "SKU", and "Descripcion". The table lists five products:

Imagen	SKU	Descripcion
	616T120=3	Plancha de Copolimer 3mm x 2000mm x 10
	616T120=5	Plancha de Copolimer 5mm x 2000mm x 10
	SPDTHD26-6	Superior Performance 26 de 6 mm
	SPDTHD28-6	Superior Performance 28 de 6 mm
	SPDTHD32-6	Superior Performance 32 de 6mm

Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortoability S.A.

Al seleccionar un producto en la vista principal, el sistema despliega una consulta individual, como se muestra en la [Figura 18](#). En esta vista se presentan las ubicaciones específicas del producto dentro del almacén y la cantidad disponible en cada una de ellas, lo que proporciona una visión organizada y detallada de la distribución del inventario de ese producto.

Figura 18: Consulta de producto individual



Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortoplity S.A.

El módulo de consulta de transacciones permite revisar el historial de entradas y salidas de productos en el almacén. Esta sección incluye opciones de filtrado por fecha y por información del artículo, facilitando la búsqueda y el seguimiento de los movimientos registrados, como se observa en la [Figura 19](#).

Figura 19: Consulta de transacciones - vista general

Canti...	Usuario	Descrip...	Tipo
20	Julio Fue...	Plancha de Copolimer Natural de 3mm x 2000mm x 1000mm	Entrada
5	Julio Fue...	Plancha de Copolimer Natural de 5mm x 2000mm x 1000mm	Entrada

Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortobility S.A.

El módulo de consulta de transacciones permite revisar el historial de entradas y salidas de productos en el almacén. La interfaz, ilustrada en la [Figura 20](#), incorpora opciones de filtrado por fecha y por información del artículo, lo que facilita la localización y el seguimiento de los movimientos registrados.

Figura 20: Consulta de transacciones con filtros

Fecha	SKU	Marca	Ubicación	Cantidad
May 21, 2025 4:38 PM	616T120=3	Ottobock	A1-N1	20
May 20, 2025 1:29 AM	616T120=5	Ottobock	B1-N3	5
May 9, 2025 3:06 PM	616T120=5	Ottobock	A1-N1	2
May 9, 2025 3:05 PM	616T120=5	Ottobock	A1-N1	1
May 9, 2025 3:04 PM	616T120=5	Ottobock	A1-N3	1

5 results

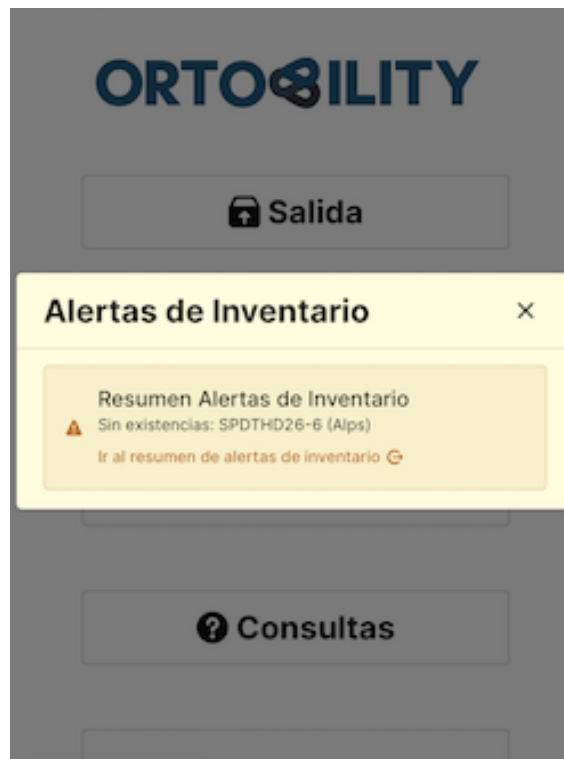
Regresar

Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortobility S.A.

El sistema de gestión de inventarios incorpora un panel de alertas accesible desde el *dashboard* principal, diseñado para notificar al usuario sobre productos cuya cantidad está por debajo del inventario de seguridad o agotados. Estas alertas se presentan en tiempo real tanto en un resumen dentro del panel principal como en ventanas emergentes cuando se registran salidas críticas. El inventario de seguridad de cada producto se configura manualmente al momento de su registro.

En la [Figura 21](#) se muestra el resumen de alertas de inventario disponible en el *dashboard* principal. Este panel emergente presenta productos sin existencias, productos con cantidades iguales o inferiores al inventario de seguridad, y aquellos cercanos al umbral crítico (20% por encima del mínimo). Además, ofrece un enlace directo al módulo de alertas para su gestión detallada.

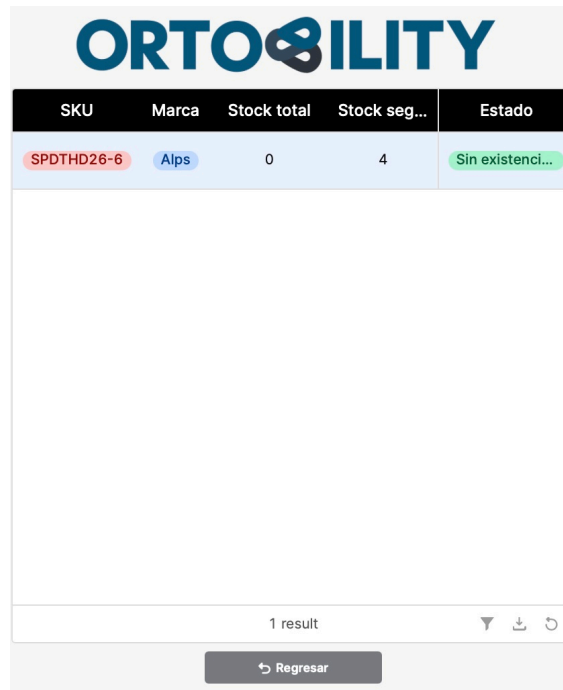
Figura 21: Alerta en el panel principal del sistema



Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortobility S.A.

El módulo de alertas, ilustrado en la [Figura 22](#), presenta una tabla que organiza los productos según el tipo de alerta identificada: sin existencias, en nivel crítico o en riesgo de alcanzar el inventario de seguridad. Esta vista facilita la revisión sistemática y la priorización de acciones correctivas sobre los productos afectados.

Figura 22: Vista de tabla del módulo de alertas



SKU	Marca	Stock total	Stock seg...	Estado
SPDTHD26-6	Alps	0	4	Sin existenci...

1 result

Regresar

Fuente: captura de pantalla de Retool reimpressa por cortesía de Retool y con autorización de Ortobility S.A.

Aunque el sistema admite la gestión por roles, la versión de Retool utilizada no permitió configurar permisos diferenciados debido a restricciones de licencia. No obstante, el acceso a la aplicación está restringido mediante invitaciones a usuarios específicos.

## 6. Configuración de códigos QR y dispositivos

Cada nivel de las estanterías fue asignado a un código QR único, con el objetivo de vincular de forma directa cada ubicación física a su representación digital en el sistema IMS. Esta estrategia permite agilizar la identificación de productos y minimizar errores operativos durante las salidas de inventario.

Los códigos QR fueron generados utilizando Python con el apoyo de ChatGPT o4-mini-high, exportados en formato `.png` de alta resolución. Cada código codifica un enlace único que incluye el identificador de la ubicación (`locationID`), permitiendo filtrar automáticamente la vista del inventario en Retool al momento del escaneo.

Se optó por el uso de dispositivos móviles como herramientas de escaneo, en lugar de adquirir hardware especializado. Esta decisión se fundamentó en la disponibilidad de smartphones en la operación, su facilidad para abrir enlaces web inmediatamente después del escaneo, y el bajo volumen de operaciones que no justifica una inversión adicional en escáneres industriales.

Al escanear un código QR, el navegador del dispositivo accede directamente a la pá-

gina filtrada correspondiente, mostrando exclusivamente los productos almacenados en el nivel escaneado. Este flujo elimina la necesidad de búsquedas manuales, reduce tiempos de operación y mejora la precisión de la gestión.

Desde una perspectiva de seguridad, las URLs generadas no son predecibles, ya que utilizan identificadores internos vinculados a la base de datos. Además, el acceso al sistema digital está restringido únicamente a usuarios autorizados mediante invitación en Retool, lo que mitiga riesgos de accesos no deseados.

Zhou (2020) señalan que el uso de códigos QR en sistemas de gestión de inventarios de pequeña y mediana escala representa una solución viable, económica y escalable frente a otras tecnologías de identificación automática como RFID.

## 7. Prueba inicial con productos de alta rotación

Antes de trasladar el sistema a un entorno físico real, se realizó una prueba inicial utilizando productos ficticios, generados exclusivamente con fines de validación lógica y operativa. Esta etapa permitió anticipar errores potenciales y garantizar que el sistema respondiera adecuadamente a las condiciones funcionales esperadas, sin poner en riesgo el inventario real de la empresa.

Para esta prueba se emplearon únicamente productos clasificados como categoría A en el análisis ABC (ver Cuadro 4 y Figura 1), dado que representan el mayor volumen de movimiento dentro del inventario. La simulación abarcó todas las funcionalidades clave del sistema: ingreso de productos existentes y nuevos, retiros por escaneo de código QR, devoluciones vinculadas a transacciones anteriores y consultas por producto o ubicación.

Se validaron aspectos fundamentales como:

- La coherencia de las transacciones generadas.
- La consistencia del inventario antes y después de cada operación.
- Las validaciones de cantidad máxima disponible por ubicación.
- El disparo automático de alertas cuando el inventario alcanzaba o caía por debajo del umbral de seguridad configurado
- El comportamiento de la interfaz gráfica en términos de navegación, velocidad de respuesta y usabilidad.

Durante la simulación, se confirmó que los formularios operaban de forma fluida, que el sistema rechazaba transacciones inconsistentes, y que los códigos QR dirigían correctamente a las páginas filtradas por ubicación. Asimismo, los registros de auditoría se generaron correctamente y las alertas de riesgo se desplegaron tanto en la vista general como en ventanas emergentes (*modals*).

En síntesis, la prueba virtual constituyó una fase crucial para validar el diseño del sistema y reducir la probabilidad de errores durante la implementación física. A partir de esta

experiencia, se realizaron ajustes menores que optimizaron el funcionamiento de formularios, los controles de cantidad y los mensajes de validación, dejando preparado el sistema para su uso con productos reales.

## **Diseño de la encuesta de experiencia de usuario**

Con el fin de evaluar la experiencia de los encargados de bodega en el cambio del sistema manual (uso de papel y hojas de cálculo) al sistema digital de gestión de inventarios, se elaboró una encuesta más amplia y estructurada. La nueva encuesta se organizó en cinco secciones, cada una enfocada en un aspecto específico del uso del sistema:

1. **Perfil del encuestado:** preguntas básicas para conocer la función y experiencia del participante.
2. **Usabilidad:** evaluación de la facilidad para registrar productos, claridad de la terminología y comprensión de los procesos.
3. **Velocidad y desempeño:** medición de la rapidez percibida en el uso del sistema durante un periodo de dos meses.
4. **Errores y exactitud:** frecuencia con que los usuarios detectaron errores o inconsistencias en el inventario.
5. **Satisfacción general:** valoración integral de la experiencia, incluyendo beneficios y mejoras observadas.

La encuesta incluyó alrededor de 30 preguntas en total, con escalas tipo Likert de 1 a 5, donde 1 indica una experiencia muy negativa y 5 una experiencia muy positiva. Además, se incorporaron preguntas de frecuencia y rapidez, con opciones de respuesta que consideran un horizonte de dos meses para facilitar la interpretación de los resultados.

La microempresa cuenta únicamente con dos usuarios principales del sistema, quienes respondieron la encuesta completa. Un tercer participante respondió únicamente las primeras preguntas de perfil, por lo que sus respuestas no fueron consideradas en los análisis comparativos.

Este diseño permite comparar la percepción de los usuarios sobre el sistema anterior y el sistema digital en cuanto a facilidad de uso, precisión, eficiencia y satisfacción, asegurando que la encuesta refleje de manera integral los cambios introducidos por la digitalización.

## **8. Indicadores de precisión y valor del inventario**

Para evaluar el desempeño del sistema de inventarios antes y después de la digitalización, se definieron un conjunto de indicadores cuantitativos orientados a medir la precisión del registro, la frecuencia de errores y el impacto económico asociado a los desajustes físicos. Estos indicadores fueron calculados con base en auditorías físicas y registros de transacciones históricas.

## Cálculo de métricas de evaluación del sistema de inventarios

Con el objetivo de evaluar el desempeño del sistema de gestión de inventarios antes y después de la implementación digital, se definieron un conjunto de métricas clave derivadas del análisis de auditorías físicas en dos cortes (30 de junio y 31 de agosto de 2025) y de los movimientos registrados en el sistema digital. Estas métricas permiten cuantificar la precisión del sistema, la magnitud de los errores detectados y el impacto económico de las discrepancias.

### Precisión de inventario y descomposición del error

#### Ecuaciones

$$\text{Exactitud (\%)} = \frac{|\{i : S_i = F_i\}|}{N} \times 100 \quad (1)$$

Esta ecuación calcula el porcentaje de productos en los que la cantidad registrada en el sistema ( $S_i$ ) coincide exactamente con la cantidad contada físicamente ( $F_i$ ), representando la proporción de coincidencias totales sobre el total de ítems evaluados ( $N$ ).

$$\text{Excedentes (\%)} = \frac{|\{i : S_i < F_i\}|}{N} \times 100 \quad (2)$$

Esta ecuación determina el porcentaje de productos que presentan más unidades físicas que las registradas en el sistema, identificando los casos donde el inventario físico excede el valor registrado.

$$\text{Faltantes (\%)} = \frac{|\{i : S_i > F_i\}|}{N} \times 100 \quad (3)$$

Esta ecuación calcula el porcentaje de productos con menos unidades físicas que las registradas en el sistema, reflejando los faltantes en el inventario físico respecto al registro.

#### Variables

- $N$ : número de productos evaluados. Se evalúan primero únicamente por sku para comparar el sistema anterior y el nuevo sistema y después se evalúa sku-ubicación.
- $S_i$ : cantidad de producto indicada por el sistema  $i$ .
- $F_i$ : cantidad física real del producto  $i$ .

Estas ecuaciones permiten cuantificar la concordancia entre el inventario físico y el sistema, separando el error en tres categorías: coincidencias, excedentes y faltantes, con el fin de evaluar la precisión general del registro de inventarios.

## Valoración de discrepancias e impacto económico del error

### Ecuaciones

$$e_i = \max(F_i - S_i, 0) \quad (4)$$

$$f_i = \max(S_i - F_i, 0) \quad (5)$$

Estas ecuaciones calculan las unidades en exceso ( $e_i$ ) y las unidades faltantes ( $f_i$ ) de cada producto  $i$ , comparando las cantidades físicas ( $F_i$ ) con las registradas en el sistema ( $S_i$ ).

$$V_e = \sum_i c_i e_i \quad (6)$$

$$V_f = \sum_i c_i f_i \quad (7)$$

$$V_{\text{err}} = V_e + V_f \quad (8)$$

Estas ecuaciones determinan el valor monetario de las discrepancias. El costo total del error ( $V_{\text{err}}$ ) se obtiene sumando los valores de los excedentes ( $V_e$ ) y de los faltantes ( $V_f$ ).

$$\text{Error \% sobre físico} = \frac{V_{\text{err}}}{V_{\text{fis}}} \times 100 \quad (9)$$

$$\text{Exactitud \%} = 100 - \text{Error \% sobre físico} \quad (10)$$

Estas ecuaciones expresan la magnitud relativa del error y el grado de exactitud del inventario, tomando como base el valor físico real del inventario ( $V_{\text{fis}}$ ).

### Variables

- $F_i$ : cantidad física del producto  $i$  en el corte.
- $S_i$ : cantidad registrada en el sistema del producto  $i$ .
- $e_i = \max(F_i - S_i, 0)$ : unidades en exceso del producto  $i$ .
- $f_i = \max(S_i - F_i, 0)$ : unidades en faltante del producto  $i$ .
- $c_i$ : costo unitario del producto  $i$ .
- $V_e$ : valor total de los excedentes.
- $V_f$ : valor total de los faltantes.
- $V_{\text{err}}$ : costo total del error del inventario.
- $V_{\text{fis}}$ : valor total del inventario físico en el corte.
- **Error % sobre físico**: proporción del error monetario respecto al valor físico del inventario.
- **Exactitud %**: proporción del inventario correctamente registrado en el sistema.

Este conjunto de ecuaciones permite valorar económicamente las discrepancias entre el inventario físico y el registrado en el sistema, separando los componentes de excedentes y faltantes. El indicador de *Error % sobre físico* refleja la materialidad del error en relación con el valor total del inventario, mientras que *Exactitud %* cuantifica el grado de alineación entre ambos registros. Esta metodología sirve para evaluar la mejora del sistema digital y verificar la consistencia de sus registros con las condiciones reales del inventario.

## Participación del valor del inventario por categoría

### Ecuaciones

$$V_{\text{cat}} = \sum_{i \in \text{cat}} c_i q_i \quad (11)$$

Esta ecuación determina el valor monetario de cada categoría del inventario. Multiplica el costo unitario de cada producto ( $c_i$ ) por la cantidad en existencia al corte ( $q_i$ ) y suma los resultados de todos los productos pertenecientes a la misma categoría ( $\text{cat}$ ).

$$V_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^n c_i q_i \quad (12)$$

Esta ecuación obtiene el valor total del inventario al corte, considerando todos los productos disponibles. Representa la base de comparación para calcular las participaciones porcentuales.

$$P_{\text{cat}} = \frac{V_{\text{cat}}}{V_{\text{tot}}} \times 100 \quad (13)$$

Esta ecuación calcula el porcentaje de participación de cada categoría ( $P_{\text{cat}}$ ) dentro del valor total del inventario. El resultado muestra qué proporción del costo total representa cada grupo (A, B, C u obsoleto).

### Variables

- $c_i$ : costo unitario del producto  $i$ .
- $q_i$ : cantidad en existencia del producto  $i$  al corte.
- $\text{cat}$ : categoría a la que pertenece el producto ( $A$ ,  $B$ ,  $C$  o *obsoleto*).
- $V_{\text{cat}}$ : valor total del inventario correspondiente a la categoría  $\text{cat}$ .
- $V_{\text{tot}}$ : valor total del inventario considerando todas las categorías.
- $P_{\text{cat}}$ : porcentaje de participación del valor de la categoría  $\text{cat}$  en el inventario total.

Este conjunto de ecuaciones permite cuantificar la proporción del costo que representa cada categoría dentro del inventario total. Su aplicación facilita identificar la concentración del valor económico, comparar la importancia relativa de las clases A, B y C, y evaluar el peso financiero de los productos obsoletos dentro del inventario general.

## Comparación del valor total del inventario entre el sistema de gestión y el conteo físico

### Ecuaciones

$$\Delta V = V_{\text{sist}} - V_{\text{fis}} \quad (14)$$

Esta ecuación obtiene la diferencia absoluta entre el valor del inventario según el sistema y el inventario físico. El resultado indica el monto en quetzales (Q) de discrepancia total entre ambos registros.

$$\text{SRV} = \frac{V_{\text{sist}} - V_{\text{fis}}}{V_{\text{fis}}} \times 100 \quad (15)$$

El sesgo relativo de valoración (SRV) mide en porcentaje si el sistema sobrevalora o subvalora el inventario respecto al conteo físico.

$$\text{RSF} = \frac{V_{\text{sist}}}{V_{\text{fis}}} \quad (16)$$

La razón sistema/físico (RSF) permite verificar la concordancia general entre ambos valores. Un resultado cercano a 1 indica coincidencia en la valoración total.

$$\text{SMAPE} = \frac{|V_{\text{sist}} - V_{\text{fis}}|}{(V_{\text{sist}} + V_{\text{fis}})/2} \times 100 \quad (17)$$

El error porcentual absoluto simétrico (SMAPE) expresa la diferencia relativa promedio entre ambas valoraciones, siendo un indicador robusto ante variaciones de signo en el sesgo.

### Variables

- $V_{\text{sist}}$ : valor total del inventario según el sistema en el corte.
- $V_{\text{fis}}$ : valor total del inventario según el conteo físico en el corte.
- $\Delta V$ : diferencia absoluta de valoración (Q).
- SRV: sesgo relativo de valoración (%). Informa si el sistema valora por debajo (negativo) o por encima (positivo) del físico y cuánto.
- RSF: razón sistema/físico (adimensional). Evalúa la cercanía al valor 1.
- SMAPE: error porcentual absoluto simétrico (%). Compara ambas valoraciones de manera relativa y permite analizar cortes aun con sesgos de signo opuesto.

Estas ecuaciones permiten comparar de forma cuantitativa las valoraciones totales del sistema y del inventario físico en cada corte. Los indicadores SRV, RSF y SMAPE proporcionan una medida integral de precisión y sesgo del sistema frente al valor real del inventario, facilitando el seguimiento del desempeño global del control de existencias.

## Rotación y días de inventario (DIO)

### Ecuaciones

$$I_{\text{prom}} = \frac{I_{\text{ini}} + I_{\text{fin}}}{2} \quad (18)$$

Esta ecuación calcula el inventario promedio valorizado ( $I_{\text{prom}}$ ) a partir de los valores de inventario al inicio ( $I_{\text{ini}}$ ) y al final ( $I_{\text{fin}}$ ) del periodo de análisis.

$$\text{Rotación} = \frac{\text{COGS}}{I_{\text{prom}}} \quad (19)$$

La rotación de inventario mide cuántas veces el inventario promedio se vende o se reemplaza durante el periodo. Se obtiene dividiendo el costo de ventas (COGS) entre el inventario promedio valorizado ( $I_{\text{prom}}$ ).

$$\text{DIO} = \frac{D}{\text{Rotación}} \quad (20)$$

El indicador de días de inventario disponible (DIO, por sus siglas en inglés) estima el número promedio de días que los productos permanecen en inventario antes de venderse o consumirse. Se calcula dividiendo la cantidad de días del periodo ( $D$ ) entre la rotación obtenida.

### Variables

- COGS: costo de ventas del periodo.
- $I_{\text{ini}}$ : inventario valorizado inicial.
- $I_{\text{fin}}$ : inventario valorizado final.
- $I_{\text{prom}}$ : inventario promedio valorizado.
- $D$ : número de días del periodo (por ejemplo, 90 para un trimestre).

Estas ecuaciones permiten medir la eficiencia en el uso del inventario. La rotación indica cuántas veces el inventario se renueva dentro del periodo, mientras que el DIO refleja la duración media del inventario antes de transformarse en ventas. Juntos, ambos indicadores ayudan a diagnosticar el nivel de liquidez operativo y la velocidad de circulación del capital invertido en existencias.

## Análisis de rentabilidad del inventario mediante el indicador GMROI

### Ecuaciones

$$MC = I_{\text{ventas}} - C_{\text{ventas}} \quad (21)$$

El margen de contribución ( $MC$ ) se obtiene restando al ingreso por ventas ( $I_{ventas}$ ) el costo de los productos vendidos ( $C_{ventas}$ ). Este valor representa la porción del ingreso que contribuye directamente a cubrir los costos fijos y generar utilidad. Su cálculo permite identificar la rentabilidad operativa generada exclusivamente por el movimiento del inventario.

$$GMROI = \frac{MC}{I_{prom}} \quad (22)$$

El indicador GMROI (Gross Margin Return on Investment) expresa la rentabilidad generada por el inventario, midiendo cuántas unidades monetarias de margen se obtienen por cada unidad monetaria invertida en existencias. Es un índice ampliamente utilizado en la gestión comercial y de distribución para evaluar la eficiencia económica del inventario.

$$I_{prom} = \frac{I_{ini} + I_{fin}}{2} \quad (23)$$

El inventario promedio ( $I_{prom}$ ) se calcula como el valor medio entre el inventario inicial ( $I_{ini}$ ) y el inventario final ( $I_{fin}$ ), ambos valorizados en unidades monetarias.

### Variables

- $I_{ventas}$ : ingreso total por ventas registradas en el periodo.
- $C_{ventas}$ : costo total de los productos vendidos.
- $MC$ : margen de contribución, diferencia entre ingresos y costos de venta.
- $I_{ini}$ : valor del inventario inicial.
- $I_{fin}$ : valor del inventario final.
- $I_{prom}$ : inventario promedio, obtenido según la ecuación (3).
- **GMROI**: retorno del margen bruto sobre la inversión en inventario, expresado como razón o porcentaje.

### Procedimiento

El cálculo del GMROI se realizó a partir de los ingresos y costos asociados a las transacciones de venta confirmadas durante el periodo de análisis. Los valores de inventario inicial y final se determinaron multiplicando las existencias físicas por el costo unitario de cada producto, obteniendo así el inventario promedio valorizado. Posteriormente, se calculó el margen de contribución y su relación con el inventario promedio, con el objetivo de evaluar la rentabilidad directa del inventario sin requerir datos de gastos fijos o administrativos.

### Interpretación

El GMROI evalúa la eficiencia del inventario para generar margen de contribución con respecto a la inversión realizada en existencias. Un valor superior a uno indica que el inventario está generando un margen mayor al costo invertido, lo cual refleja una gestión rentable.

Por el contrario, valores bajos pueden evidenciar sobreinventario, rotación insuficiente o márgenes de venta reducidos. Según Kenton (2025), este indicador se utiliza ampliamente en el sector minorista para analizar la capacidad del inventario de generar ganancias después de cubrir los costos de adquisición, constituyendo una referencia esencial para evaluar el desempeño financiero de los inventarios.

### Utilización y ganancia de espacio

#### Ecuaciones

$$\% \Delta m^2 = \frac{m_{\text{desp}}^2 - m_{\text{base}}^2}{m_{\text{base}}^2} \times 100 \quad (24)$$

#### Variables

- $m_{\text{base}}^2$ : área útil antes del rediseño.
- $m_{\text{desp}}^2$ : área útil después del rediseño.

### Adopción de QR y trazabilidad

#### Ecuaciones

$$\% \text{Productos de categoría A con QR} = \frac{A_{\text{QR}}}{A} \times 100 \quad (25)$$

$$\% \text{Transacciones por QR} = \frac{T_{\text{QR}}}{T} \times 100 \quad (26)$$

#### Variables

- $A$ : total de productos categoría A.
- $A_{\text{QR}}$ : productos clase A con QR activo.
- $T$ : transacciones totales.
- $T_{\text{QR}}$ : transacciones registradas con QR.

Miden cobertura del etiquetado y su uso real en operación.

### Desempeño del sistema (tiempos de respuesta)

#### Ecuaciones

$$p50 = \text{Perc}_{0.50}(\{T_j\}) \quad (27)$$

$$p95 = \text{Perc}_{0.95}(\{T_j\}) \quad (28)$$

$$T_{\text{máx}} = \text{máx}_j T_j \quad (29)$$

#### Variables

- $T_j$ : tiempos de respuesta medidos (ms),  $j = 1, \dots, n$ .
- $p50$ : percentil 50 de  $\{T_j\}$ .
- $p95$ : percentil 95 de  $\{T_j\}$ .
- $T_{\text{máx}}$ : máximo observado.

Describen el comportamiento típico, la cola alta y el peor caso de latencia.

Indican qué tanto se usa la capacidad y el cambio de área útil.

## 9. Verificación del método PEPS en el sistema de inventario

El método PEPS establece que los productos deben salir del inventario siguiendo el orden en que ingresaron, es decir, se despachan primero las unidades más antiguas. Para comprobar que el nuevo sistema digital cumple con esta regla, se utilizó la información de las transacciones registradas con código QR.

El procedimiento consistió en lo siguiente:

1. Para cada producto y ubicación, se organizó el inventario inicial y las entradas posteriores según su fecha de ingreso y número de lote.
2. Cada salida registrada se comparó con el lote más antiguo disponible en ese momento. Si la salida coincidía con dicho lote, se consideró conforme al PEPS.
3. En caso de que un lote se agotara, las salidas posteriores debían continuar con el siguiente lote en orden de antigüedad.

Con este enfoque se verificó, de manera sistemática, que las salidas realizadas en el sistema correspondieran siempre a los lotes más antiguos disponibles, garantizando así la trazabilidad y el cumplimiento del método PEPS en el manejo del inventario.

### Ecuaciones

$$x = \sum_{k=1}^K x_k \quad (\text{consumo en orden FIFO}) \quad (30)$$

$$C_{\text{salida}} = \sum_{k=1}^K x_k c_k \quad (31)$$

### Variables

- $x$ : cantidad total a despachar.
- $(q_k, c_k)$ : cantidad y costo unitario del lote  $k$  (orden FIFO).
- $x_k$ : cantidad tomada del lote  $k$ .

- $C_{salida}$ : costo total de la salida.

Resume verificación de la regla PEPS para consumo y valoración por lotes.

## 10. Verificación del sistema de alertas de inventario

La verificación del sistema de alertas de inventario se realizó comparando los resultados obtenidos de dos consultas principales: una que muestra las alertas en la pantalla principal del sistema y otra que genera una lista detallada de productos con posibles faltantes. Para esta comprobación se utilizaron las bases de datos de productos, inventario y movimientos de entrada o salida. Se aplicaron tres condiciones de evaluación: cuando el stock es igual a cero se considera *sin existencias*, cuando el stock es menor o igual al nivel de seguridad se clasifica como *cerca de agotarse*, y cuando el stock se encuentra entre el nivel de seguridad y 1.5 veces ese valor se marca como *bajo stock*.

Con estas condiciones se revisaron únicamente los productos que tienen un nivel de seguridad definido, descartando aquellos sin valores configurados. Posteriormente, se calculó la precisión de las alertas comparando los productos identificados por el sistema con los datos reales del inventario, a fin de confirmar que las reglas de alerta funcionaran correctamente dentro de la base de datos y reflejaran fielmente los niveles críticos de existencias.

### Ecuaciones

$$\text{Sin existencias} \iff S = 0 \wedge G > 0 \quad (32)$$

$$\text{Cerca de agotarse} \iff 0 < S \leq G \wedge G > 0 \quad (33)$$

$$\text{Bajo stock} \iff G < S \leq G \times f \wedge G > 0 \quad (34)$$

$$\text{Precisión (\%)} = \frac{A_{correctas}}{A_{totales}} \times 100 \quad (35)$$

$$\text{Cobertura (\%)} = \frac{A_{detectadas}}{A_{esperadas}} \times 100 \quad (36)$$

### Variables

- $S$ : cantidad total disponible en inventario.
- $G$ : cantidad definida como stock de seguridad para cada producto.
- $f$ : factor multiplicador de 1.5 utilizado para determinar el umbral de *bajo stock*.
- $A_{correctas}$ : número de alertas que coinciden con la condición real del producto.
- $A_{totales}$ : número total de alertas generadas por el sistema.
- $A_{detectadas}$ : número de productos que el sistema identificó correctamente dentro de los umbrales establecidos.
- $A_{esperadas}$ : número de productos que deberían generar alerta según los datos reales.

Estas ecuaciones permiten evaluar el cumplimiento de las reglas de alerta, determinando su precisión y cobertura dentro del sistema de gestión de inventarios.

## 11. Procedimiento para identificar y comparar ventas perdidas a partir de registros de mensajería

Se revisaron los registros de mensajería instantánea entre el gestor administrativo y el personal de ventas correspondientes al período de abril a septiembre de 2025. El propósito fue identificar las ocasiones en las que no se concretó una venta debido a la falta de disponibilidad en inventario y comparar su frecuencia entre el sistema anterior (abril–junio) y el sistema nuevo (julio–septiembre). Los hallazgos permitieron cuantificar las ventas perdidas y evaluar el impacto operativo de las rupturas de stock.

Los registros se organizaron de forma cronológica y se depuraron para excluir conversaciones ajenas a la disponibilidad de productos. Cada incidencia se asoció al correspondiente SKU del catálogo cuando la información del mensaje lo permitió. Los casos en los que no fue posible identificar el producto, por falta de datos en la mensajería (por ejemplo, cuando la referencia provenía de una llamada sin transcripción), se excluyeron del análisis al no poder vincularse con un SKU específico.

Cada incidencia se clasificó como venta perdida o diferida según las expresiones utilizadas por el personal de ventas, tales como confirmaciones de falta de stock o avisos de ingreso pendiente. Con este proceso se garantizó la trazabilidad de las causas y la posibilidad de comparar los resultados entre ambos sistemas.

Se registró una única incidencia por producto y conversación dentro de un intervalo de 24 horas, evitando duplicaciones. Los mensajes no vinculados a disponibilidad, como gestiones de cobro o logística se excluyeron del análisis. En los casos ambiguos se revisó minuciosamente el hilo completo para confirmar si la conversación correspondía a una pérdida real de venta por falta de inventario.

## 12. Procedimiento ante inactividad del sistema digital

En caso de inactividad del sistema digital de gestión de inventarios por mantenimiento, fallas técnicas o cualquier otro motivo, se establece el siguiente protocolo para asegurar la trazabilidad y continuidad de las operaciones:

1. Notificar inmediatamente al gestor administrativo de la base de datos y al responsable de la bodega sobre la interrupción del sistema, mediante mensajería instantánea con una captura de pantalla sobre el error para registro y solución de problemas.
2. Registrar manualmente todos los movimientos de inventario (entradas, salidas, devoluciones y ajustes) en una hoja de cálculo electrónica estructurada con los campos definidos en el Cuadro 7. Un ejemplo completo de este formato puede consultarse en el anexo E.
3. Conservar los comprobantes físicos asociados a cada movimiento (facturas, notas de entrega, recibos u otros) e indicar su número de referencia en la hoja de cálculo.
4. Una vez restablecido el sistema, ingresar todos los movimientos registrados de forma manual en la aplicación digital, respetando las fechas y cantidades originales.

5. Registrar en el formulario de control interno la hora y fecha en que se completó la actualización en el sistema digital, con la firma o identificación del operador responsable y la verificación del administrador de la base de datos.
6. Archivar la hoja de cálculo y el formulario de control como respaldo documental del incidente, asegurando su trazabilidad en la carpeta de auditoría correspondiente.

Este procedimiento garantiza la integridad, trazabilidad y actualización oportuna de la información del inventario, manteniendo la confiabilidad del sistema digital durante periodos de inactividad temporal.

Cuadro 7: Estructura recomendada para el registro manual durante la inactividad del sistema digital

Columna	Formato	Descripción
Fecha	DD/MM/AAAA	Día en que se realizó el movimiento.
Hora	HH:MM	Hora exacta del registro manual.
Tipo de movimiento	Texto (Entrada/Salida/Devolución/Ajuste)	Clasificación de la operación efectuada.
SKU	Código alfanumérico	Identificador único del producto según catálogo.
Descripción del producto	Texto corto	Nombre o detalle del producto involucrado.
Cantidad	Número entero	Unidades ingresadas o retiradas del inventario.
Ubicación	Código alfanumérico	Posición física del producto en la bodega.
Operador responsable	Nombre completo	Persona que efectuó el registro manual.
Cliente	Texto corto	Nombre del cliente o entidad asociada al movimiento.
Comprobante	Texto (No. de factura o nota)	Número o referencia del documento asociado.
Estado de actualización	Texto (Pendiente/Actualizado)	Indica si el registro ya fue ingresado al sistema digital.
Fecha de actualización	DD/MM/AAAA	Día en que el registro fue digitalizado.
Verificado por	Nombre o firma	Persona que validó la correcta actualización.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 8: Requisitos del sistema de gestión de inventarios y diseño de bodega

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Verificación</b>
SGI-S01	El sistema debe registrar automáticamente el 100 % de las entradas y salidas mediante códigos de QR.	✓
SGI-S02	Las alertas de inventario mínimo deben activarse automáticamente cuando las existencias estén al mínimo del cálculo del modelo de lote óptimo de pedido para los productos de más alta rotación.	✓
SGI-S03	La interfaz de usuario debe permitir consultas rápidas de inventario en menos de 2 segundos.	✓
SGI-S04	El sistema debe sincronizarse automáticamente con la nube cada 5 minutos para respaldo y seguridad.	✓
SGI-S05	El sistema debe ser escalable, permitiendo asignar un código único para cada posición en la bodega, sincronizado con el sistema digital.	✓
SGI-S06	El sistema debe implementar la metodología PEPS (Primero en entrar, primero en salir) para la rotación de inventarios.	✓
SGI-S07	El sistema debe permitir el uso de teléfonos inteligentes para la lectura de códigos de QR.	✓
SGI-S08	Debe evaluarse y adquirirse un software preexistente para la gestión de inventarios que permita la lectura de códigos QR y registro automatizado de entradas y salidas.	✓
SGI-S09	Los códigos QR no deben tener fecha de caducidad.	✓

Continúa en la siguiente página

Cuadro 8: continuación desde la página anterior

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Verificación</b>
SGI-S10	El sistema debe tener una funcionalidad para gestionar productos en liquidación y defectuosos, incluyendo su rastro y estado actual, sin mezclarlos con productos en buen estado ni mezclar los de liquidación con los defectuosos.	✓
SGI-H01	El lector de códigos QR debe tener un rango efectivo de al menos 50 cm, soportar uso continuo durante 8 horas o contar con posibilidad de recarga.	✓
SGI-H02	Las ubicaciones en la bodega deben estar visibles y legibles, con un tamaño de letra que permita ser visibles al menos a 1 metro de distancia.	✓
SGI-H03	El sistema o software de generación de códigos debe ser compatible con impresoras de etiquetas.	✓
DB-S01	Las estanterías deben soportar cargas de al menos 150 kg por nivel, según normativa internacional ISO 11262:2007.	✓
DB-E01	La disposición debe aumentar la eficiencia de acceso a productos en al menos un 15 % con respecto a la actual.	✓
DB-A01	Las estanterías inferiores de cada estantería se utilizarán para apilar planchas plásticas de al menos 2 m x 6 mm y deben tener espacio para manejarlas, apiladas en dos estanterías consecutivas.	✓
DB-A02	Las posiciones dentro de las estanterías y gabinetes deben identificarse con un código alfanumérico único, estructurado por estantería, fila y columna (por ejemplo, E001A para la fila inferior de la Estantería 1).	✓
DB-P01	La ubicación de los productos debe garantizar que los de mayor rotación estén a no más de 2.5 metros de la entrada a la bodega.	✓
DB-P02	Las estanterías para planchas de 2 metros deben garantizar que no interfieran con el paso ni el acceso a otros productos, considerando un espacio libre de 390 mm de cada lado donde se encuentran estas planchas.	✓
DB-P03	Debe haber un área específica para productos obsoletos o en proceso de baja, claramente delimitada y separada del inventario activo. Los productos defectuosos y de liquidación tendrán un apartado en la sección de rotación baja dentro de la bodega.	✓

Fuente: elaboración propia

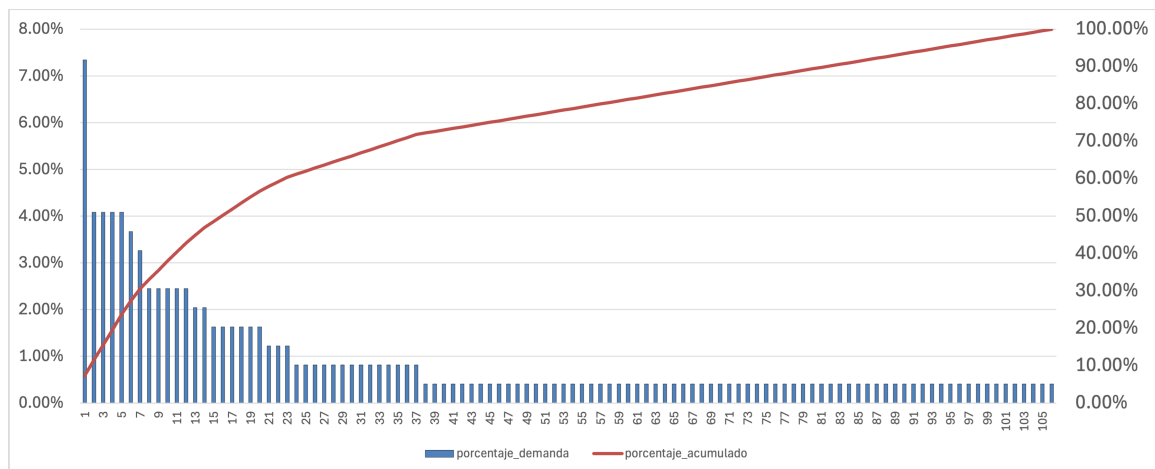
Cuadro 9: Clasificación ABC por código SKU del sistema anterior según la demanda (abril-junio 2025)

ID	Código	% demanda	% acumulado	Categoría
1	616T120=5	7.35 %	7.35 %	A
2	1SP5SRSH	4.08 %	11.43 %	A
3	3GEN-A-G3.00-M10	4.08 %	15.51 %	A
4	616T20=2000x3	4.08 %	19.59 %	A
5	616T20=2000x5	4.08 %	23.67 %	A

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro presenta el análisis ABC por código correspondiente al sistema previo de inventarios para el periodo abril-junio de 2025. Se muestran los cinco productos con mayor demanda junto con sus porcentajes individuales y acumulados de participación, además de su clasificación en la categoría A, que agrupa los artículos de rotación más alta. Este registro permite comparar la distribución de la demanda previa a la implementación del nuevo sistema y establecer una línea base para el análisis posterior.

Figura 23: Curva de Pareto y clasificación ABC del sistema anterior por código SKU según la demanda (abril-junio 2025)



Fuente: elaboración propia.

La Figura muestra la curva ABC elaborada con los datos del Cuadro 9, correspondiente al sistema previo de inventarios en el trimestre abril-junio de 2025. Las barras representan el porcentaje individual de participación de cada producto, mientras que la curva acumulada indica la concentración progresiva de la demanda total. Esta representación gráfica permite visualizar los artículos con mayor rotación y validar su clasificación dentro de la categoría A establecida en el análisis.

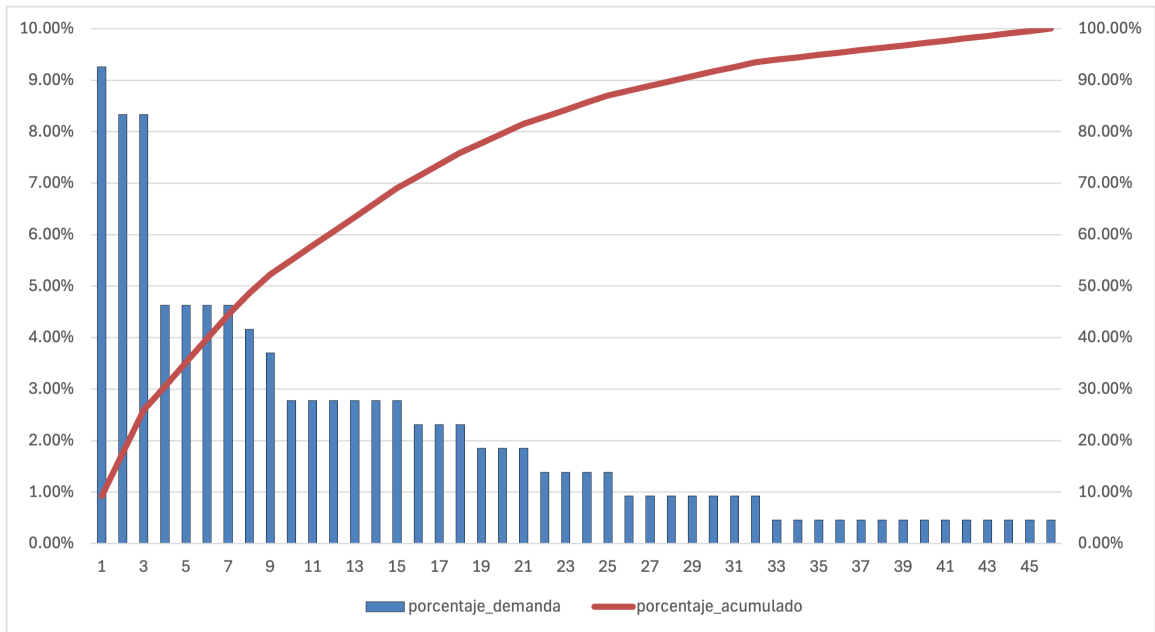
Cuadro 10: Clasificación ABC por sub-categoría del sistema anterior según la demanda de productos ortoprotésicos (abril–junio 2025)

ID	Subcategoría	% demanda	% acumulado	Categoría
1	Copolimero Natural de 5 mm o 3/16"	9.18%	9.18%	A
2	Espuma Cosmetica AK	9.18%	18.37%	A
3	Media Protésica, Corta, Regular, 5 PLY, con agujero	5.10%	23.47%	A
4	Polipropileno Natural de 3 mm o 1/8"	5.10%	28.57%	A
5	Polipropileno Natural de 5 mm o 3/16"	5.10%	33.67%	A

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro muestra los resultados del análisis ABC por subcategoría de productos ortoprotésicos correspondiente al sistema previo en el trimestre abril–junio de 2025. Se presentan las cinco subcategorías con mayor demanda, junto con su porcentaje individual y acumulado, además de la categoría asignada según su nivel de rotación. Todas las subcategorías del fragmento pertenecen a la categoría A, lo que confirma su relevancia operativa dentro del inventario.

Figura 24: Curva de Pareto y clasificación ABC del sistema anterior por subcategoría del inventario según la demanda (abril–junio 2025)



Fuente: elaboración propia.

La Figura presenta la curva ABC elaborada con los datos del Cuadro 10, correspondiente al sistema previo durante el trimestre abril–junio de 2025.

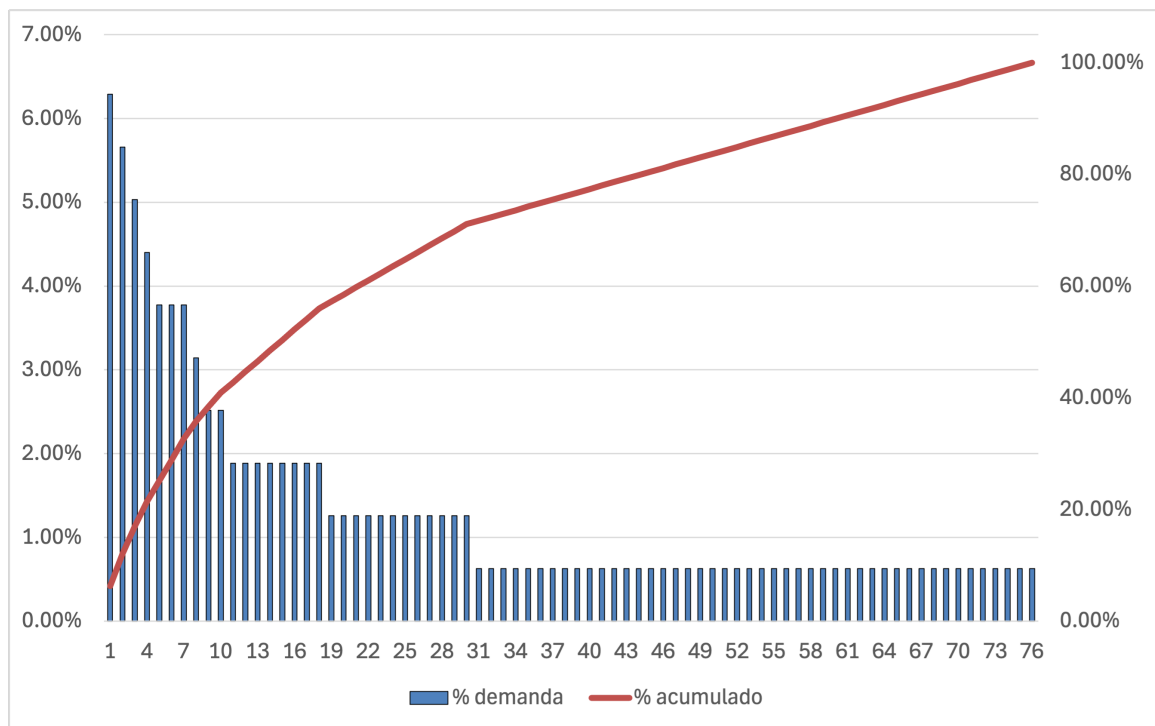
Cuadro 11: Clasificación ABC por código SKU del nuevo sistema según la demanda (julio–septiembre 2025)

ID	Código	% demanda	% acumulado	Categoría
1	616T20=2000x5	6.29 %	6.29 %	A
2	SPDTHD32-6	5.66 %	11.95 %	A
3	3GEN-A-G2.00-M10	5.03 %	16.98 %	A
4	616T120=5	4.40 %	21.38 %	A
5	200469	3.77 %	25.16 %	A

Fuente: elaboración propia con el sistema digital de inventarios.

El Cuadro presenta el análisis ABC por código correspondiente al trimestre julio–septiembre de 2025, elaborado con los registros del nuevo sistema de inventarios. Se incluyen los cinco códigos con mayor participación en la demanda, junto con sus porcentajes individuales y acumulados, además de la categoría asignada según su nivel de rotación.

Figura 25: Curva de Pareto y clasificación ABC por código SKU del nuevo sistema según la demanda (julio–septiembre 2025)



Fuente: elaboración propia.

La Figura presenta la curva ABC elaborada con los datos del Cuadro [11](#), correspondiente al nuevo sistema digital durante el trimestre julio–septiembre de 2025. Las barras representan la participación individual de cada código SKU en la demanda total, mientras que la línea acumulada o curva de Pareto, muestra la proporción progresiva de consumo.

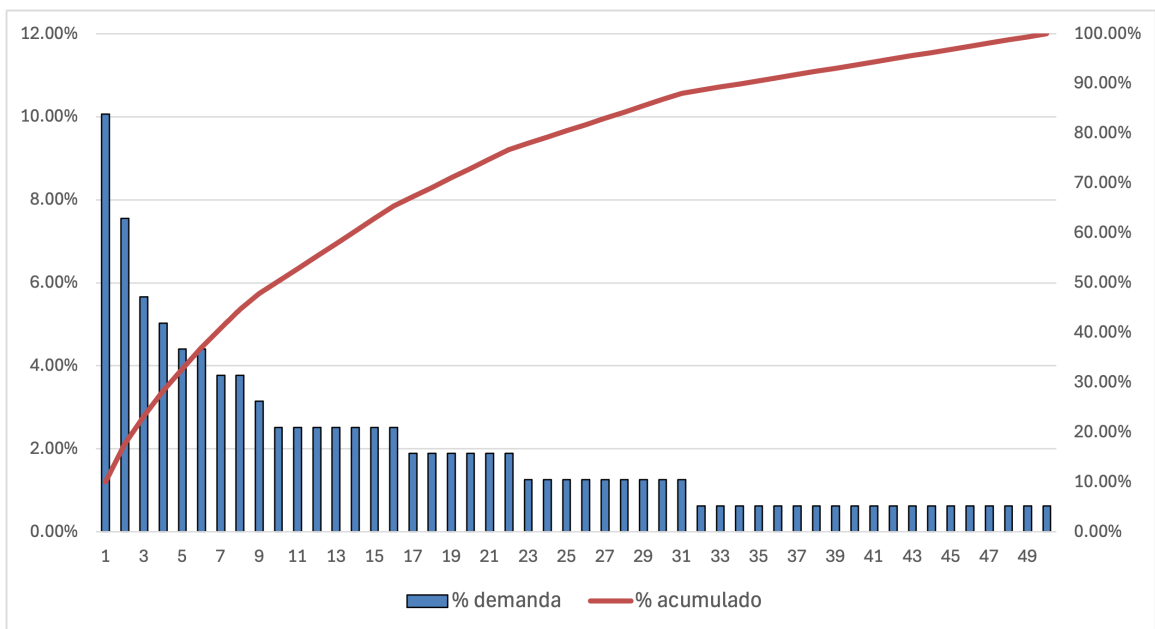
Cuadro 12: Clasificación ABC por sub-categoría del nuevo sistema según la demanda (julio–septiembre 2025)

ID	Subcategoría	% demanda	% acumulado	Categoría
1	EVA	10.06 %	10.06 %	A
2	Polipropileno Natural de 5 mm o 3/16"	7.55 %	17.61 %	A
3	Liner 32	5.66 %	23.27 %	A
4	Shuttle Lock con pines 2"	5.03 %	28.30 %	A
5	Liner 38	4.40 %	32.70 %	A

Fuente: elaboración propia con el sistema digital de inventarios.

El Cuadro presenta los resultados del análisis ABC por subcategoría correspondiente al nuevo sistema digital de inventarios durante el trimestre julio–septiembre de 2025. Se muestran las cinco subcategorías con mayor participación en la demanda, junto con sus porcentajes individuales y acumulados, además de la categoría asignada según su nivel de rotación.

Figura 26: Curva de Pareto y clasificación ABC por sub-categoría del nuevo sistema según la demanda (julio–septiembre 2025)



La Figura presenta la curva ABC elaborada con los datos del Cuadro [12](#), correspondiente al nuevo sistema digital de inventarios durante el trimestre julio–septiembre de 2025.

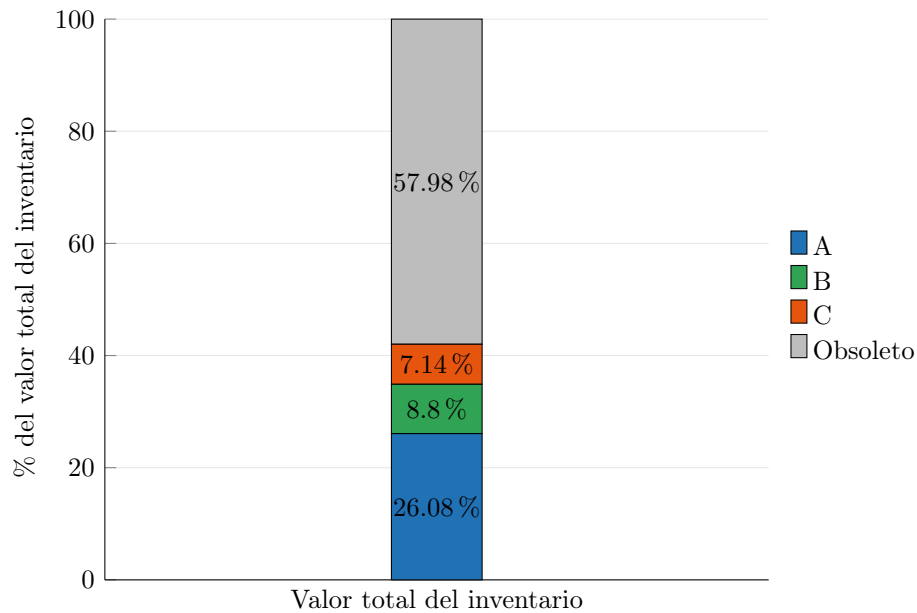
Cuadro 13: Composición del inventario al corte por participación del valor, SKUs con categoría y unidades (julio–septiembre 2025)

Categoría / Estado	Valor (Q)	% del total	SKUs con categoría (salidas)	Unidades
A (activo)	363,728.00	26.08	30	221
B (activo)	122,754.00	8.80	23	160
C (activo)	99,517.00	7.14	23	220
Obsoleto activo	808,497.00	57.98	0	1,212
<b>Total</b>	<b>1,394,496.00</b>	<b>100.00</b>	<b>76</b>	<b>1,813</b>

Fuente: elaboración propia. Notas: (i) “SKUs con categoría (salidas)” corresponde a la clasificación ABC por valor usando salidas del trimestre; en “Obsoleto activo” es 0 por definición. (ii) “Unidades” proviene de la suma de *Cantidad total* al corte por fila; incluye A/B/C con existencias y los obsoletos activos. Puede diferir del total global de unidades por ítems activos sin clasificación ABC (sin salidas en el periodo).

El Cuadro presenta la composición del inventario al corte del trimestre julio–septiembre de 2025 según la participación del valor económico de las categorías A, B y C (activos), y de los productos clasificados como obsoletos activos, respecto del valor total del inventario.

Figura 27: Composición del inventario al corte por participación del valor de las categorías ABC y productos obsoletos (julio–septiembre 2025)



Fuente: elaboración propia.

La Figura presenta la proporción del valor con SKUs en existencias al corte distribuida en las clases de rotación A, B y C, y el estado obsoleto activo, correspondiente al trimestre julio–septiembre de 2025. Se consideran productos obsoletos aquellos que no han tenido un movimiento de salida en 90 días o más y siguen en inventario.

Cuadro 14: Comparación por corte entre valor del sistema y del inventario físico del sistema anterior y el sistema nuevo

Corte	Sistema (Q)	Físico (Q)	$\Delta V$ (Q)	SRV (%)	RSF	SMAPE (%)
2025-06-30	635,369.00	686,491.00	-51,122.00	-7.45	0.9255	7.73
2025-08-31	643,973.00	628,733.00	15,240.00	2.42	1.0242	2.40

Fuente: elaboración propia.

Compara, por corte, el valor total del inventario según el sistema y el conteo físico. Incluye por corte la diferencia absoluta ( $\Delta V$ ) entre el sistema y el conteo físico. Los valores negativos indican subvaloración del sistema frente al físico; los positivos indican sobrevaloración. También se incluye el sesgo relativo (SRV), la razón sistema/físico (RSF) y el SMAPE. Estos últimos indicadores permiten valorar la cercanía entre fuentes y la magnitud del desajuste en cada fecha de control.

Cuadro 15: Exactitud del inventario por corte considerando únicamente productos (SKU)

Corte	Ítems	Exactos	Excedentes	Faltantes	Exactitud %	Error %
2025-06-30	391	259	58	74	66.2 %	33.8 %
2025-08-31	403	380	23	0	94.3 %	5.7 %

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro presenta la precisión del inventario comparando el conteo físico y el sistema digital. El corte del 30 de junio de 2025 corresponde al sistema anterior. El corte del 31 de agosto de 2025 muestra los resultados obtenidos con el nuevo sistema digital. Cada fila indica el número total de SKUs revisados, cuántos coincidieron exactamente, cuántos tuvieron excedentes o faltantes, y el porcentaje de aciertos totales.

Cuadro 16: Exactitud del inventario considerando producto y ubicación (SKU-ubicación)

Corte	Ítems	Exactos	Excedentes	Faltantes	Exactitud %	Error %
2025-08-31	427	402	24	1	94.15	5.85

Fuente: elaboración propia.

Este Cuadro detalla la evaluación de la exactitud a nivel de producto y ubicación específica. Cada registro representa una combinación única de producto y estantería, verificando no solo las cantidades, sino también la correcta asignación física dentro de la bodega.

Cuadro 17: Costo de discrepancias entre el sistema digital y el inventario físico por periodo de control

Corte	Costo excedente (Q)	Costo faltante (Q)	Costo error total (Q)	Error % sobre físico
2025-06-30	Q 73,139.55	Q 106,562.32	Q 179,701.87	26.2 %
2025-08-31	Q 15,239.33	Q 0.00	Q 15,239.33	2.4 %

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro resume por corte las discrepancias monetarias a nivel de producto (SKU).

Presenta el costo excedente, el costo faltante, el costo error total y el porcentaje de error sobre el conteo físico en cada fecha de control.

Cuadro 18: Costo de discrepancias entre el sistema nuevo y el inventario físico por SKU–Ubicación

Corte	Costo excedente (Q)	Costo faltante (Q)	Costo error total (Q)	Error % sobre físico
2025-08-31	16,471.48	0.00	16,471.48	2.62

Fuente: elaboración propia.

Resumen de las discrepancias monetarias analizando las variables SKU–ubicación. Se muestran costo excedente, costo faltante y costo error total. Facilita identificar zonas físicas del almacén con mayor impacto económico.

Cuadro 19: Productos con mayor costo asociado a discrepancias por corte entre el sistema previo y el sistema nuevo)

Rank	2025-06-30 (por SKU)		2025-08-31 (por SKU)	
	SKU	Costo error (Q)	SKU	Costo error (Q)
1	616T120=4	14,704.25	616T120=4	2,356.76
2	616T83=15	8,000.00	616T120=5	1,376.14
3	LSL3.0-26	7,850.00	SPFRHD-38	1,152.00
4	616T83=20	7,600.00	AKDTHD-16	1,152.00
5	616T20=2000X3	7,273.80	SPDTHD-20	1,152.00

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro compara los cinco productos con mayor costo de error en cada corte. La sección izquierda corresponde al 30 de junio (sistema previo). La sección derecha corresponde al 31 de agosto (sistema nuevo). Se registran los códigos SKU y el costo del error en quetzales.

Cuadro 20: Indicadores de rotación de inventarios correspondientes al periodo del 1 de julio al 30 de septiembre de 2025

Parámetro	Símbolo	Valor
Duración del periodo	$D$	91 días
Costo de ventas del periodo	COGS	Q 84,235
Inventario promedio	$I_{\text{prom}}$	Q 641,836
Rotación	$R$	0.131 veces
Días de inventario en mano (DIO)	DIO	693 días

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro presenta los indicadores del trimestre comprendido entre el 1 de julio y el 30 de septiembre de 2025, calculados a partir de los registros del sistema digital de inventarios.

Cuadro 21: Indicador GMROI mensual correspondiente al periodo del 1 de julio al 30 de septiembre de 2025

Mes	Inventario promedio (Q)	Margen de contribución (Q)	GMROI [veces]
Julio	656,162	30,892	0.047
Agosto	639,960	33,812	0.053
Septiembre	626,210	28,661	0.046

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro presenta los valores mensuales del indicador de rentabilidad del inventario (GMROI) obtenidos durante el periodo comprendido entre el 1 de julio y el 30 de septiembre de 2025.

Cuadro 22: Comparativo entre sistemas de rupturas de inventario (abril–junio vs. julio–septiembre)

Sistema	Meses	Instancias de pérdida	Instancias/mes	Variación vs. sistema anterior	Valor de ventas perdidas (Q)
Anterior	abr–jun	16	5.3	—	11192
Nuevo	jul–sep	10	3.3	-37.5 %	13950

Fuente: elaboración propia con base en registros de chat (2025).

El Cuadro presenta la comparación entre los dos sistemas considerando el total de instancias de pérdida de venta en periodos equivalentes de tres meses, el promedio mensual y la variación porcentual respecto al sistema anterior.

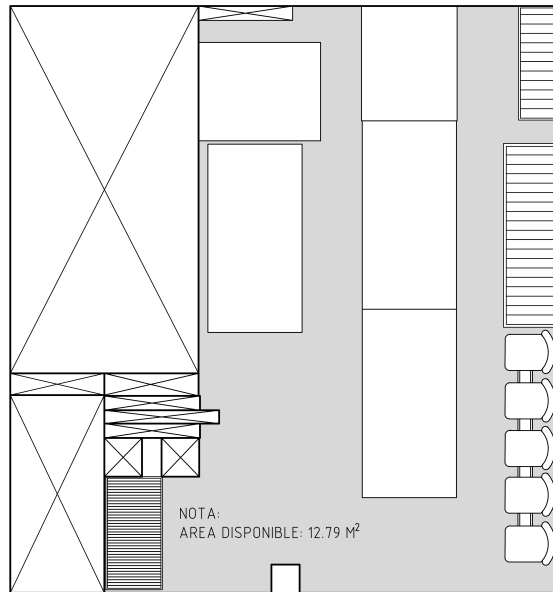
Cuadro 23: Comparación del área en la bodega antes y después de la redistribución

Condición	Área (m <sup>2</sup> )	Incremento (%)
Diseño previo	12.79	-
Diseño nuevo	19.30	+50.9
<b>Diferencia</b>	<b>+6.51</b>	<b>+50.9</b>

Fuente: elaboración propia con .

Se presentan las áreas medidas para el diseño previo y el diseño nuevo. Las áreas se obtuvieron con la herramienta *Hatch/Area* de AutoCAD, comparando ambos diseños para derivar la diferencia absoluta y el porcentaje de mejora.

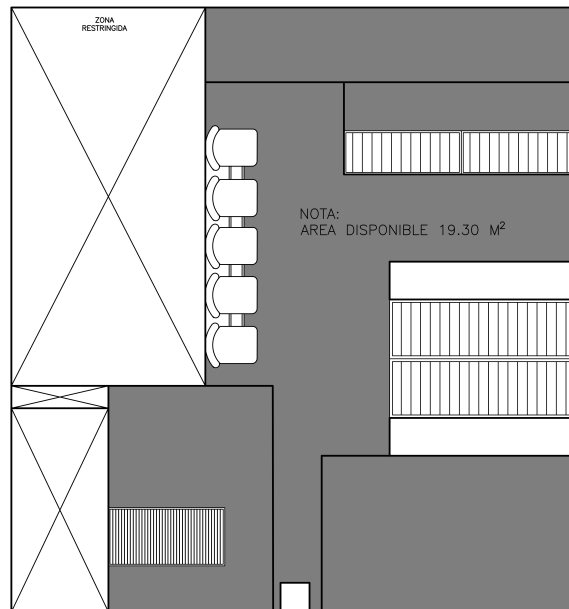
Figura 28: Distribución inicial de la bodega con área utilizable de 12.79 m<sup>2</sup>



Fuente: captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc..

El área disponible se representa de color gris claro en la distribución realizado con la herramienta *Hatch/Area* de Autodesk, AutoCAD.

Figura 29: Distribución final de la bodega con área utilizable de 19.30 m<sup>2</sup>



Fuente: captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc..

Cuadro 24: Cobertura QR y movimiento de productos de alta rotación (categoría A) durante el periodo (julio–septiembre 2025)

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Transacciones registradas (incluye anuladas)	102
Transacciones válidas (sin anuladas)	100
Entradas válidas	21
Salidas válidas	79
Salidas hechas con QR (por diseño)	<b>100 %</b>

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro resume el volumen de transacciones válidas del trimestre y las separa por entradas y salidas para dejar claro el alcance del análisis. Identifica los productos de alta rotación o de categoría A y muestra cuántos se utilizando el sistema, QR para las salidas y el módulo de entradas para los ingresos al almacén

Cuadro 25: Verificación del cumplimiento del método PEPS según producto y ubicación (muestra de 10 registros) para el periodo de (julio–septiembre 2025)

<b>SKU</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Piezas despachadas</b>	<b>Piezas PEPS</b>	<b>Cumplimiento (%)</b>
616T20=2000X5	A1-N1	10	10	100
SPDTHD326	A1-N2	8	8	100
616T120=5	A1-N1	7	7	100
200469	A1-N1	6	6	100
616T120=4	A1-N1	6	6	100
17AF10=L	A1-N2	5	5	100
3GENAG200M10	A1-N2	5	5	100
107PEW	C1-N4	4	4	100
3GENAG125M10	A1-N2	4	4	100
FHS8	C1-N4	4	4	100

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro presenta un fragmento de los resultados obtenidos en la verificación del método PEPS, agrupados por producto y ubicación. Se muestra el número de piezas despachadas, las piezas que cumplieron con el criterio de salida en orden de ingreso y el porcentaje de cumplimiento por combinación SKU–ubicación. El 100 % registrado en las filas corresponde al cumplimiento total en los casos mostrados.

Cuadro 26: Verificación del método PEPS por evento de salida según lote de entrada y lote de despacho (muestra de 10 registros)

Fecha	SKU	Ubicación	Lote entrada	Lote salida	Cantidad	Cumple PEPS
2025-07-01	17AF10=MDAST	A1-N3	235	235	2	Sí
2025-07-01	SFA=44L	C2-N2	214	214	1	Sí
2025-07-01	3GENAG200M10	A1-N2	242	242	4	Sí
2025-07-02	SPDTHD326	A1-N2	165	165	1	Sí
2025-07-02	1102=23L	B1-N1	134	134	1	Sí
2025-07-02	33999	A1-N1	18	18	2	Sí
2025-07-07	AKDTHD446	A1-N2	216	216	1	Sí
2025-07-07	SPDTHD326	A1-N2	165	165	1	Sí
2025-07-10	SPDTHD326	A1-N2	165	165	1	Sí
2025-07-14	FHS8	C1-N4	310	310	4	Sí

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro muestra un extracto de los eventos de salida verificados individualmente, donde se comparó el lote de salida con el lote de entrada disponible al frente de la cola. Cada fila representa una transacción registrada en el sistema, indicando la fecha, producto, ubicación, lotes asociados y la cantidad despachada. El campo “Cumple PEPS” señala si la salida coincidió con el lote más antiguo disponible.

Cuadro 27: Alertas de inventario en productos de alta rotación — *dashboard* (corte: 2025-10-08)

Categoría de alerta	SKUs con alerta	Participación de alertas (%)
Bajo stock	0	0.0 %
Cerca de agotarse	9	64.3 %
Sin existencias	5	35.7 %
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>100.0 %</b>

Fuente: elaboración propia.

Nota: Población de SKUs de alta rotación al corte: 24.

El Cuadro clasifica los productos de alta rotación con alerta activa al 2025-10-08. Reporta, por categoría de alerta, los SKUs afectados y su participación dentro del total de alertas del *dashboard*, ordenadas desde menor hasta mayor prioridad. Las tres categorías de alerta son: sin existencias cuando el stock es igual a cero, cerca de agotarse cuando es menor o igual al nivel de seguridad, y bajo stock cuando se encuentra entre el nivel de seguridad y una vez y media dicho valor.

Cuadro 28: Evaluación del sistema de alertas mediante indicadores clave de desempeño (corte 8 de octubre de 2025)

Indicador	Valor (%)
Cobertura de alertas esperadas	100.00
Alertas priorizadas (productos de alta rotación)	5.88
Alertas no priorizadas (productos de media/baja)	94.12

Fuente: elaboración propia.

El Cuadro consolida tres indicadores al 8 de octubre de 2025. “Cobertura de alertas esperadas” indica qué proporción de alertas generadas corresponde a las alertas esperadas para los SKUs de alta rotación. “Alertas priorizadas (productos de alta rotación)” señala qué proporción de SKUs con alerta pertenece a alta rotación dentro de todas las alertas listadas en la tabla de alertas. “Alertas no priorizadas (productos de media/baja)” muestra la proporción de SKUs con alerta que pertenecen a media rotación, baja rotación o productos obsoletos. Estos indicadores describen alcance y focalización del sistema en el corte.

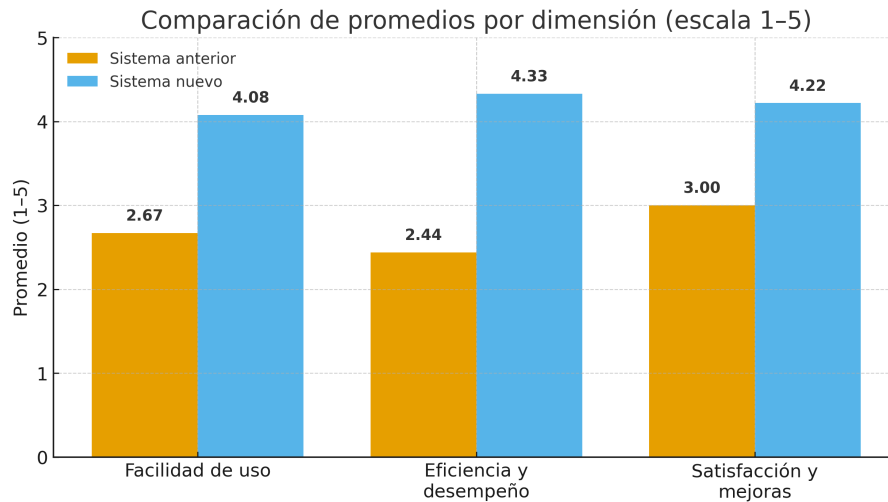
Cuadro 29: Tiempos de consulta en el sistema nuevo

Query	n	p50 (ms)	p95 (ms)	Máx. (ms)	Mín. (ms)
ConsultarProductos	35	939	1900	4327	398
ConsultarUbicacion	31	771	1444	2922	367

Fuente: elaboración propia.

Este Cuadro resume el tiempo de respuesta del sistema nuevo al hacer consultas. “n” indica cuántas pruebas se hicieron; “p50” es el tiempo que tardó la mitad de las pruebas (mediana); “p95” muestra el tiempo que tardó el 95 % de las pruebas. También se incluyen los tiempos máximo y mínimo observados, todos en milisegundos (ms).

Figura 30: Comparación gráfica de la experiencia del usuario por dimensión (escala 1-5)



Fuente: elaboración propia.

Muestra, mediante barras agrupadas con etiquetas de valor, los promedios por dimensión del Cuadro anterior para facilitar la comparación visual. Escala 1-5, n=2 (se excluyó un participante por encuesta incompleta).

---

## Discusión de resultados

---

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos para comprobar el cumplimiento del objetivo general de optimizar el manejo y control del inventario mediante registros automatizados, así como de los objetivos específicos y requisitos definidos en el protocolo del sistema de gestión de inventarios. Cada apartado relaciona los datos obtenidos con el objetivo o requisito correspondiente, explicando cómo y por qué se cumple o no.

### A. Verificación del sistema anterior y comparativa con el nuevo sistema

La clasificación ABC presentada en los Cuadros 9 y 10 del sistema anterior, y en los Cuadros 11 y 12 del sistema nuevo, muestra diferencias en los productos de mayor rotación. En ambos sistemas aparecen como categoría A los códigos 616T120=5 y 616T20=2000x5. Sin embargo, en el sistema anterior los códigos con ID 2 y ID 3 del Cuadro 9 corresponden a ventas únicas del año, por lo que su presencia en A no refleja rotación sostenida. El SGI incorporó referencias como SPDTHD32-6 y 200469, consistentes con la demanda observada en operación.

Al analizar subcategorías, el sistema anterior prioriza copolímero y polipropileno, pero incluye *medias* y *espumas* como subcategorías destacadas, lo que no coincide con la experiencia operativa. En contraste, el Cuadro 12 del sistema nuevo resalta subcategorías que tienen mayor sentido operativo, como materias primas y consumibles de paciente. Estos cambios sugieren que la menor precisión del sistema previo pudo distorsionar la identificación de los artículos relevantes. El SGI ofrece una clasificación más consistente, lo que favorece una asignación de recursos y una priorización de reposiciones mejor fundamentadas.

Las curvas de Pareto del sistema anterior por código (Figura 23) muestran un pico inicial

seguido de estabilidad, patrón asociado a eventos de venta únicos. Por subcategoría (Figura 24) se observan picos al inicio en familias con tallas distintas, sin continuidad en el tiempo. En el sistema nuevo, las curvas por código y por subcategoría (Figuras 25 y 26) presentan una caída escalonada sin picos agudos, lo que describe mejor la distribución acumulada de la demanda. Como se documenta más adelante, la mayor exactitud del sistema nuevo respalda que estas curvas representen con mayor fidelidad el comportamiento de consumo.

El análisis comparativo entre el sistema anterior y el Sistema de Gestión de Inventarios (SGI) evidencia una mejora significativa en la precisión y confiabilidad del control de inventario. Como se observa en los Cuadros 15 y 16, la precisión del SGI alcanzó 94.3% por SKU y 94.15% por SKU–ubicación, mientras que el sistema anterior registró 66.24% por SKU y no existe SKU–ubicación porque no existía una organización categorizada previamente. Esta diferencia refleja la reducción de errores por transcripción y duplicación de datos. En el sistema previo, las anotaciones manuales se copiaban a una hoja de cálculo y la responsabilidad del registro se distribuía entre dos personas, lo que aumentaba la probabilidad de inconsistencias. Con el SGI, el registro quedó centralizado en una sola persona y se realiza directamente en la base de datos, lo que explica la mejora en la exactitud observada.

Durante el trimestre julio–septiembre se registraron 118 salidas y 23 entradas, equivalentes a un promedio de 10 a 12 movimientos semanales. Este volumen confirma que la velocidad de operación no constituye un factor crítico. Los resultados muestran que la variable determinante es la precisión del registro y la trazabilidad de las transacciones, factores en los que el SGI ha superado de forma comprobable al sistema anterior.

Además de SGI-S01, se verificó el cumplimiento de SGI-S05 mediante el uso de código único por posición, lo que explica la consistencia de la exactitud cuando se evalúa por SKU-ubicación. La mejora de 28.05 puntos porcentuales entre el sistema anterior y el SGI se sostiene por la nomenclatura alfanumérica de estante, fila y columna DB-A02 y por la ubicación de productos de mayor rotación cerca de la entrada DB-P01.

El incremento de precisión también está vinculado con un conjunto de medición más amplio, lo que demuestra la robustez del sistema digital frente al método anterior. Aun así, los errores no se eliminan completamente, ya que el operador debe ingresar manualmente las cantidades extraídas del inventario. Este paso sigue siendo susceptible a equivocaciones involuntarias, lo que justifica que la precisión no alcance el 100%.

Los resultados de los cortes de junio y agosto (Cuadro 17) muestran una mejora importante en la coincidencia entre el valor del inventario del sistema y el conteo físico. En junio, el costo total del error fue de Q 179,701.87, equivalente al 26.18 por ciento del valor físico; en agosto, se redujo a Q 15,239.33, con un 2.42 por ciento de error. Esta disminución confirma el cumplimiento del objetivo específico seis, orientado a comparar la precisión antes y después de la implementación del sistema, y contribuye al objetivo general de optimizar el control del inventario mediante registros automatizados.

La reducción de los costos por excedentes y faltantes evidencia una mejora directa en el control del inventario. En junio existían diferencias elevadas, mientras que en agosto los faltantes desaparecen y los excedentes se reducen a niveles mínimos. Los excedentes representaban productos presentes en bodega que el sistema no mostraba, generando pérdidas potenciales de ventas y mayores costos de almacenamiento. Los faltantes, por el contrario,

implicaban la ausencia de productos registrados, lo que podía causar incumplimientos de entrega y errores en el servicio. La reducción simultánea de ambos tipos de discrepancia demuestra un sistema más confiable y una gestión de inventarios más eficiente.

El análisis complementario por producto y ubicación (Cuadro 18) confirma que el sistema mantiene coherencia entre los registros y las existencias físicas, con un error de 2.62 por ciento en agosto. Estos resultados se relacionan con el cumplimiento de los requisitos SGI-S01 y SGI-S05, vinculados al registro con códigos de respuesta rápida y a la identificación única de cada posición de almacenamiento. La implementación de estas funciones fortaleció la trazabilidad, redujo los errores de registro manual y mejoró la disponibilidad de información confiable, garantizando un control operativo más preciso y alineado con los objetivos del proyecto.

Dado que en el corte de agosto aún no se habían definido las ubicaciones dentro del almacén, no fue posible realizar el cálculo directamente por ubicación. Por esta razón, el análisis se desagregó en función del SKU–ubicación (Cuadro 18). En este escenario, el costo excedente totaliza Q 16,471.48 frente a Q 15,239.33 al considerar únicamente los SKU. Las variaciones entre ubicaciones son mínimas y se compensan al consolidar los datos, sin alterar la interpretación general del corte.

Se presenta un error típico por similitud entre productos: se retira la plancha de 3 mm pero se escanea o registra la de 4 mm. Queda excedente en un SKU y faltante en el otro. Este patrón incrementa el costo excedente, el costo faltante y el costo error total del Cuadro 17. Entre las medidas preventivas destacan la señalización de espesores contiguos, la separación física de referencias similares y la verificación visual del espesor antes de registrar la salida.

Por otro lado, se evaluó la proporción de productos obsoletos en relación con las diferentes categorías de rotación del inventario. Como se muestra en el Cuadro 13 y la Figura 27, el valor total de los productos obsoletos representa el 57.98 % del costo total del inventario, mientras que el resto se distribuye entre las categorías de rotación A, B y C. Este resultado evidencia que una parte significativa del capital de la empresa se encuentra inmovilizada en productos sin rotación, lo cual afecta directamente la liquidez. Dado que más del 74 % de los productos con movimiento pertenecen a categorías de rotación baja, se recomienda liquidar progresivamente el inventario obsoleto y reinvertir los recursos en productos de alta demanda para optimizar el flujo de efectivo.

Desde la perspectiva del sistema de gestión, esta visualización representa una mejora sustancial. En el sistema anterior, el cálculo debía realizarse de forma manual, lo que dificultaba el seguimiento del valor obsoleto. Con la integración del sistema actual, las consultas PostgreSQL permiten automatizar los cálculos y vincular los datos de las tablas **inventario** y **transacciones**, generando indicadores en tiempo real. Esta capacidad refuerza el cumplimiento de los objetivos 4, 5 y 6, al demostrar que el sistema no solo permitió digitalizar el registro de productos por fases, sino que también proporciona métricas clave para la toma de decisiones estratégicas y la planificación de compras.

El Cuadro 14 compara el valor total del inventario entre el sistema y el conteo físico en dos cortes. En 2025-06-30, el sistema registró una subvaloración de Q 51,122 respecto al inventario físico. En 2025-08-31, el sistema mostró una sobrevaloración leve de Q 15,240. Esta variación reduce la discrepancia absoluta en 70.2 %, y muestra mayor coherencia entre

el registro digital y las existencias verificadas físicamente.

El sesgo relativo  $SRV$  pasó de  $-7.45\%$  a  $+2.42\%$  (valores negativos indican subvaloración del sistema frente al físico). La razón sistema/físico  $RSF$  se aproximó a 1, de 0.9255 a 1.0242. El  $SMAPE$  disminuyó de  $7.73\%$  a  $2.40\%$ , lo que refleja un menor desajuste global. En conjunto, los indicadores confirman que el sistema digital reduce la magnitud del error y mejora la confiabilidad respecto al inventario físico.

Estos resultados se relacionan con los objetivos 4, 5 y 6 del proyecto: implementación por fases del registro digital, automatización de los registros, y comparación de la precisión antes y después de la adopción del sistema. La menor dispersión observada entre el sistema y el inventario físico respalda su cumplimiento, al consolidar un registro más exacto y trazable, con información disponible en tiempo casi real para la toma de decisiones.

En el ámbito de trazabilidad, el SGI registra todas las salidas mediante escaneo de códigos QR, cumpliendo con el requisito SGI-S01. Esta función permite asociar cada movimiento a una ubicación específica, fortaleciendo la trazabilidad de los productos. Aunque el escaneo no elimina por completo los errores humanos, sí reduce la dependencia de múltiples personas y mantiene actualizado el sistema de manera continua.

El cumplimiento de la política PEPS, verificado en las tablas 25 y 26, confirma que el sistema ejecuta automáticamente las salidas según el orden cronológico de ingreso. Esto asegura que los productos más antiguos sean despachados primero, evitando desalineaciones entre la antigüedad física y el registro contable. La aplicación automática de esta política fortalece la rotación y previene acumulación innecesaria de inventario. Más adelante se discutirán los hallazgos relacionados con el PEPS.

En conjunto, el SGI cumple los objetivos de evaluación y comparación definidos en el proyecto. Mejora la exactitud del registro, reduce los costos de oportunidad, asegura la trazabilidad total de los movimientos e implementa correctamente la política PEPS. Estos resultados confirman el cumplimiento de los Objetivos 1 y 6 y de los requisitos SGI-S01 y SGI-S06, consolidando un sistema de control confiable y eficiente para la gestión del inventario.

## B. Rotación de inventario (julio–septiembre 2025)

Los resultados del trimestre muestran una rotación de 0.131 veces y unos días de inventario en mano (DIO) de 693, lo que evidencia permanencias prolongadas antes de convertirse en ventas. Este comportamiento, presentado en el Cuadro 20, indica un ritmo de salida bajo coherente con un portafolio de demanda limitada y permite evaluar el desempeño del sistema con indicadores obtenidos de registros verificables.

El inventario promedio de Q641,836, representan una magnitud relevante de capital inmovilizado. Para la operación esto implica costo financiero de mantener existencias, riesgo de obsolescencia y presión sobre la liquidez. Contar con estas cifras a nivel trimestral y con trazabilidad temporal habilita decisiones de reposición y nivelación basadas en objetivos de cobertura, umbrales mínimos y lotes económicos, lo que reduce el capital atado sin comprometer la disponibilidad. La precisión mejorada del sistema, sustentada en transacciones

confirmadas y auditoría de reversiones, incrementa la confiabilidad de estas métricas para la gestión.

El costo de los productos vendidos del periodo asciende a Q84,235. En relación con el inventario promedio, esta magnitud describe una conversión moderada de existencias a ventas y orienta acciones de negocio: revisión del surtido de baja rotación, ajuste de frecuencias de reabastecimiento, definición de metas de rotación por categoría y uso selectivo de promociones o políticas de precio para acelerar la salida de productos rezagados. Estas medidas buscan disminuir los días de inventario en mano y liberar liquidez sin deteriorar el nivel de servicio.

En conjunto, los indicadores confirman el cumplimiento de los objetivos y requisitos del proyecto al proporcionar métricas automatizadas, trazables y útiles para la toma de decisiones. La plataforma permite monitorear de forma sistemática la relación entre inventario, salidas y valor económico, y aporta una base cuantitativa para metas de reducción de inmovilizado y mejoras continuas en eficiencia operativa.

### C. Comparación de rupturas de inventario entre los sistemas

El Cuadro 22 muestra que, tras la implementación del nuevo sistema digital de gestión de inventarios, el número de ventas perdidas por ruptura disminuyó de forma considerable en comparación con el sistema anterior. Esto evidencia una mejora en la capacidad del sistema para registrar movimientos, generar alertas y evitar omisiones en los productos de mayor rotación. Sin embargo, a pesar de que las interrupciones fueron menos frecuentes, el valor económico de las ventas perdidas aumentó. Este comportamiento se explica porque las rupturas correspondieron principalmente a productos de mayor precio y margen, lo cual incrementó el impacto financiero por cada caso.

La diferencia entre frecuencia y valor revela que el nuevo sistema logró reducir los errores de registro y localización, pero aún enfrenta limitaciones externas relacionadas con la capacidad de reabastecimiento inmediato. La empresa mantiene un flujo de efectivo restringido, lo que impide reponer inventario en el momento oportuno incluso cuando el sistema identifica la necesidad. Esta condición se refleja también en el capital detenido en productos de baja rotación, documentado en las métricas de rotación del Cuadro 20, lo que restringe la disponibilidad de liquidez para compras de productos críticos.

En consecuencia, los hallazgos sugieren reforzar las políticas de control dentro del sistema y no únicamente aumentar los niveles de inventario. Se recomienda ajustar los parámetros de inventario en el software, como los mínimos de seguridad y los intervalos de alerta, priorizando los productos de alta demanda y alto valor. Asimismo, se propone integrar reportes automáticos que combinen indicadores financieros y operativos para facilitar la toma de decisiones sobre compras y reposiciones. Estas recomendaciones permitirían aprovechar las ventajas del sistema digital, reduciendo la probabilidad de ruptura sin comprometer el flujo de efectivo disponible.

Los resultados presentados también evidencian la contribución directa al cumplimiento de los objetivos del proyecto, especialmente el objetivo general de desarrollar e implementar

un sistema de gestión de inventarios con procesos automatizados que optimicen el control del inventario. La disminución de las instancias de pérdida confirma que el sistema contribuye a una gestión más precisa y eficiente de las entradas y salidas de productos.

En cuanto a los objetivos específicos, estos resultados demuestran avances en la identificación de áreas de mejora del sistema de inventario y en la clasificación de los productos de acuerdo con su rotación y valor económico. Además, reflejan el cumplimiento parcial del objetivo de comparar la precisión del registro antes y después de la implementación, ya que se evidenció una mejora en el control, aunque persisten limitaciones de orden financiero que no dependen del sistema mismo.

## D. Redistribución física del almacén

El rediseño físico incrementó el área transitable de la bodega de 12.79 m<sup>2</sup> a 19.30 m<sup>2</sup>, equivalente a un aumento del 50.98 %. Este resultado, documentado en el Cuadro 23, confirma el cumplimiento del Objetivo 3, que establecía aumentar el espacio utilizable en al menos un 15 %. Las Figuras 28 y 29 ilustran la mejora en la distribución y en la circulación interior.

El rediseño también cumple con los requisitos del grupo DB. El DB-E01, que exige mejorar la eficiencia de acceso, se satisface al despejar la zona central y crear pasillos continuos entre estanterías. Los DB-A01 y DB-P01, que regulan la ubicación de planchas plásticas y de productos de alta rotación, se cumplen al reducir desplazamientos y facilitar la manipulación. El DB-P02, que establece claros laterales mínimos de 390 mm, se respeta en la nueva configuración. Finalmente, el DB-P03, que exige un área diferenciada para productos obsoletos o defectuosos, se cumple con la creación de la zona de liquidaciones.

Las principales causas del aumento del área transitable fueron el traslado de las planchas plásticas, que antes ocupaban gran parte del piso, hacia las estanterías designadas, y la eliminación de tarimas acumuladas que obstruían la zona restringida. La nueva disposición permitió apilar las planchas en posición vertical y acceder a todos los módulos, lo que incrementó significativamente la superficie disponible. Además, las estanterías están numeradas y vinculadas con el módulo de consultas del sistema IMS, lo que permite localizar productos sin depender de la memoria individual del personal y garantiza continuidad operativa incluso con nuevos operarios.

En términos operativos, el efecto más notable es la facilidad de movimiento dentro de la bodega. Los productos de mayor rotación, ahora ubicados cerca de la entrada, se manipulan con menos esfuerzo y sin interferencias. Los recorridos para retiro y reposición son más cortos y seguros, ya que no hay productos que obstruyan el paso y los bordes filosos de las planchas plásticas se concentran en un solo sector. La diferencia entre el estado anterior y el actual puede observarse en las Figuras incluidas en los anexos 35 y 36. Antes no existían áreas ni estanterías identificadas, lo que generaba movimientos menos eficientes y frecuentes interferencias en la manipulación. Aunque no se midió el tiempo ahorrado, los registros del trimestre de julio a septiembre, con un promedio de diez a doce movimientos semanales, confirman que el nivel de actividad diaria equivalente a uno o dos productos no justifica una evaluación adicional de eficiencia temporal. Lo relevante es que las operaciones actuales se

ejecutan sin obstáculos ni demoras perceptibles.

La redistribución del almacén también permitió realizar auditorías físicas por secciones, una práctica que antes no podía aplicarse por la falta de orden. La nueva disposición permite planificar verificaciones parciales por niveles o estanterías sin interrumpir las operaciones. Esta condición facilita la futura implementación de controles segmentados y mejora la trazabilidad de productos por áreas delimitadas, derivada de la numeración y estructura del mobiliario.

Persisten algunas limitaciones que deben considerarse para mantener los beneficios obtenidos. El uso temporal del piso como área de descarga o preparación puede reducir la superficie transitable si se acumulan cajas o tarimas sin ubicar. También es necesario mantener el orden al devolver los productos a sus posiciones asignadas para evitar discrepancias entre la disposición física y el registro digital. Finalmente, la zona de liquidaciones debe conservarse delimitada para que los productos defectuosos o fuera de catálogo no interfieran con el inventario activo.

En conjunto, los resultados demuestran que la redistribución física del almacén incrementó la capacidad útil, mejoró la localización y consolidó la integración con el sistema digital de inventarios, garantizando una operación más ordenada, accesible y trazable.

## E. Cobertura y trazabilidad mediante códigos QR

El Sistema de Gestión de Inventarios (SGI) incorporó la trazabilidad por códigos QR como mecanismo principal de control en las salidas de productos. Según el Cuadro 24, el 100 % de los movimientos analizados para los productos de alta rotación fueron registrados mediante escaneo. Aunque los resultados muestran únicamente los productos evaluados, en la práctica todas las transacciones de salida durante el periodo se realizaron utilizando códigos QR, lo que garantiza un registro automatizado de cada producto despachado y su ubicación en bodega. Este nivel de cobertura valida la efectividad del sistema en las operaciones críticas del flujo de inventario.

El uso de códigos QR en las salidas cumple una función doble. Por un lado, asegura que cada producto sea identificado individualmente y, por otro, mantiene la trazabilidad de su movimiento dentro del sistema. Antes de la implementación digital, los registros se realizaban de forma manual en formularios o hojas de cálculo, lo que generaba errores de duplicación o pérdida de información. Con el SGI, el escaneo confirma en tiempo real la salida de cada artículo y actualiza automáticamente la cantidad en la base de datos, reduciendo la intervención humana a la verificación física del producto.

El análisis de cobertura se limita a las salidas, ya que las entradas y devoluciones no emplean códigos QR. El sistema fue configurado para que los QR identifiquen únicamente productos previamente registrados; en una entrada nueva, ese vínculo aún no existe, por lo que el registro se realiza de forma manual. Además, las entradas requieren una verificación visual previa para asegurar que exista espacio disponible en la ubicación antes de registrar el movimiento. Dado que el sistema no representa la cantidad de espacio ocupado ni el espacio libre, no se consideró conveniente automatizar este proceso, ya que no aportaría un valor

operativo significativo al nivel de operación actual al ser una bodega a detalle. En el caso de las devoluciones, el proceso también requiere validación manual del estado del producto antes de reincorporarlo al inventario. Estas operaciones, aunque no automatizadas mediante QR, mantienen su registro dentro del sistema y contribuyen a la integridad general de la base de datos.

El uso de trazabilidad digital representa un avance sustancial en la administración del inventario, al permitir que cada salida quede registrada en tiempo real y asociada a una ubicación específica. Esto refuerza el control operativo diario y crea una base de información estructurada para auditorías, análisis de rotación y evaluación del desempeño del sistema. En términos metodológicos, este resultado verifica el cumplimiento del Objetivo 6, que establece la evaluación del sistema implementado y la comparación de su confiabilidad frente al modelo anterior.

En conclusión, el SGI asegura trazabilidad total en las operaciones de salida mediante el uso de códigos QR. Aunque las entradas y devoluciones no forman parte de este proceso, el sistema mantiene consistencia de registro y control. La cobertura completa obtenida demuestra la madurez funcional del sistema y la consolidación de un flujo de información confiable y auditable en las operaciones de inventario.

## F. Productos con mayor costo de error

El análisis de los cinco productos con mayor costo de error permite identificar el impacto de la digitalización sobre las referencias más críticas. En el Cuadro 19 se observa que, en el corte de junio, los errores más altos variaban entre Q7,273.80 y Q14,704.25, concentrándose en componentes de alto valor. Este comportamiento respalda la pertinencia del objetivo específico 2, que establecía la necesidad de clasificar los productos por rotación y valor económico para priorizar su control dentro del sistema digital.

En el corte de agosto, los errores máximos se redujeron a un rango de entre Q1,152.00 y Q2,356.76. La principal causa de las discrepancias continuó vinculada a las planchas plásticas identificadas con los códigos 616T, las cuales presentan el mismo largo y ancho, pero difieren en 1 mm de espesor, lo que propicia errores de selección y registro. Además, se detectó un patrón adicional en productos con empaques visualmente idénticos pertenecientes a la misma marca, como las familias SPFR, AKDT y SPDT. Esta similitud genera desbalances cruzados: un código acumula excedentes y otro faltantes, lo que incrementa el costo total del Top-5 (véase el Cuadro 19).

Se recomienda implementar medidas preventivas como separar físicamente las planchas de distinto grosor mediante divisores, colocar señalización visible que indique el espesor, utilizar herramientas de medición antes de confirmar las salidas y verificar cuidadosamente las etiquetas de los productos con empaques similares.

Con estos resultados se puede afirmar que el control dejó de ser general y pasó a enfocarse en los productos que generan más impacto económico, cumpliendo con lo solicitado en el objetivo específico 2. La disminución de los costos en estos productos confirma que las medidas implementadas fueron efectivas para proteger el inventario más sensible.

## G. Desempeño de consultas

Las pruebas se ejecutaron con una computadora a mediodía. El Cuadro [29](#) reporta promedio, p95, máximo y mínimo. El 95 % de las consultas respondió en menos de 2 s y el máximo observado fue 4.3 s. La sincronización con la nube se observó instantánea.

El desempeño es suficiente para la operación actual de 1–2 movimientos diarios. Una consulta lenta o fallida puede retrasar al operador. Con los valores vigentes, el riesgo operativo es bajo; el máximo registrado se vigilará si aumentan los usuarios y el volumen de datos.

El tiempo medido corresponde solo a la respuesta del sistema al buscar por descripción, SKU o marca. No incluye la apertura de la aplicación, el ingreso al módulo de consultas, la localización física, el retiro ni el registro de la salida. La métrica evalúa disponibilidad y estabilidad de la información.

El error más común es tipográfico en el criterio de búsqueda. Para mitigarlo, conviene priorizar la búsqueda por código exacto, emplear filtros por familia cuando existan referencias afines y evitar comodines en primera posición.

Existen riesgos a monitorear: conectividad de red, crecimiento del catálogo y concurrencia de usuarios. Se recomienda mantener índices en los campos más consultados y observar p95 y máximos de forma periódica. La caché local de resultados recientes puede mejorar la respuesta en escenarios de uso intensivo.

El 22 de septiembre se presentó un error aislado en la aplicación al intentar mostrar la tabla de consultas. En uno de los dispositivos, la información no se cargó correctamente, mientras que en otro equipo el sistema funcionó con normalidad. El registro del error, mostrado en la Figura [37](#), evidencia que el problema se originó en la forma en que la aplicación solicitó la información, y no en la base de datos ni en la conexión a internet. El incidente no pudo resolverse en ese momento, pero no volvió a repetirse en los días posteriores, por lo que se considera una falla puntual sin impacto en la operación general del sistema.

## H. Manejo PEPS del nuevo sistema

El Sistema de Gestión de Inventarios aplica la política PEPS de forma automática en cada salida. Los Cuadros [25](#) y [26](#) muestran que las transacciones verificadas respetaron el orden cronológico de entrada. El sistema descuenta primero del lote más antiguo registrado, lo que mantiene alineada la antigüedad física con el registro contable.

El alcance se limita a las salidas. Las devoluciones requieren revisión del estado y confirmación manual antes de reingresar el producto, con el fin de proteger la secuencia del lote y evitar rupturas del historial.

El efecto operativo es directo. La política evita saltos de lote y reduce diferencias entre la antigüedad real y la antigüedad registrada. Esto facilita auditorías, mejora la valoración del inventario y simplifica el análisis de rotación.

Persiste un límite operativo. El sistema aplica PEPS en el registro, pero el cumplimiento físico depende de que el operador retire el producto del lote más antiguo. El riesgo aumenta en referencias con presentaciones similares. Se sugiere señalar el lote más antiguo en la ubicación, separar físicamente lotes contiguos y mantener verificación visual antes de confirmar la salida.

## I. Alertas de inventario en el sistema digital

El sistema activa alertas cuando la existencia cae en rangos mínimos configurados y las presenta en el panel principal y en su módulo dedicado, con actualización en tiempo real desde el SGI. Esta función respalda el Objetivo 6 y verifica el requisito SGI-S02, al convertir el estado del inventario en una señal operativa que orienta decisiones de reposición. Las categorías y su distribución se documentan en el Cuadro [27](#)

La utilidad de la alerta depende del patrón de consumo. En productos de mayor rotación, la señal anticipa faltantes y permite ordenar a tiempo. En baja rotación, la aparición de referencias en el listado responde al diseño: dar visibilidad de SKU sin existencias para planificar cantidades menores en el siguiente pedido junto con productos de alta rotación de la misma marca.

El flujo de datos condiciona la oportunidad de la señal. Las salidas se registran por código QR y actualizan el stock en tiempo real. Las entradas y devoluciones se registran en sitio de forma manual; si el producto ya ubicando físicamente aún no se registra en el SGI, la alerta se mantiene y desaparece en cuanto se confirma la entrada.

Las implicaciones operativas son directas. Las alertas permiten a compras anticipar pedidos, reducir faltantes y evitar pérdidas de venta y rupturas de inventario. Con el volumen actual, conviene priorizar referencias críticas y usar el listado como insumo de planeación, ajustando mínimos según consumo real y plazo de reaprovisionamiento.

Las futuras mejoras contemplan integrar métodos de reabastecimiento como lote económico de pedido (EOQ), punto de reorden con nivel de servicio, e inventario cíclico. Estos cálculos no se implementaron en esta fase porque el enfoque del sistema fue la trazabilidad y precisión de registro, no la optimización de políticas de inventario. Una futura ampliación podría incorporar estos modelos para ajustar cantidades de pedido y frecuencia de revisión según la rotación real de cada producto.

## J. Experiencia de los usuarios

La evidencia respalda el Objetivo 7. La Figura [30](#) muestra incremento en las tres dimensiones evaluadas: *facilidad de uso* de 2.67 a 4.08, *eficiencia y desempeño* de 2.44 a 4.33 y *satisfacción y mejoras* de 3.00 a 4.22. La Figura también confirma la tendencia. Estos resultados son coherentes con la disponibilidad oportuna de información observada en el Cuadro [29](#) y con la reducción de errores discutida en secciones previas.

Las causas de mejora combinan factores del sistema y del proceso de transición. El

escaneo de salidas y la consulta rápida disminuyen pasos manuales y evitan duplicaciones, lo que los usuarios perciben como mayor control y menor retrabajo. El inventario físico de transición contribuyó al depurar saldos y reducir confusiones iniciales, lo que facilita una experiencia más consistente al momento de consultar y despachar.

Las implicaciones operativas son directas. Mayor facilidad y eficiencia reducen tiempos de búsqueda, mejoran la confiabilidad percibida y favorecen la adopción del sistema. Para compras, la experiencia positiva se traduce en mayor uso del módulo de alertas y, por tanto, en una reposición más anticipada y con menos faltantes.

Al contrastar estos hallazgos con los requisitos no funcionales, se comprueba que el desempeño es adecuado y que la usabilidad mejora de manera significativa. Los resultados muestran que los usuarios logran registrar y consultar información en menos tiempo, con mayor claridad y menos errores. Esto significa que se cumple el objetivo 7 de satisfacción de los usuarios con el sistema.

1. Se alcanzó el **objetivo 1**, correspondiente a la evaluación del sistema actual de gestión de inventarios. Las entrevistas y el inventario físico del 1 de noviembre de 2024 permitieron obtener una línea base con una exactitud del 66.24 % y un mapa de causas que orientó el rediseño técnico del sistema.
2. Se alcanzó el **objetivo 2**, relacionado con la clasificación de productos por rotación y valor. La aplicación del método ABC permitió identificar los artículos de categoría A y priorizar los de mayor impacto operativo, guiando la reorganización física y el registro digital.
3. Se alcanzó el **objetivo 3**, correspondiente al diseño de un plano de redistribución que incrementara el espacio utilizable. El rediseño físico aumentó el área de 12.79 m<sup>2</sup> a 19.30 m<sup>2</sup>, equivalente a un incremento del 50.9 %, mejorando la ergonomía y la eficiencia operativa.
4. Se alcanzó el **objetivo 4**, relativo al desarrollo de un sistema digital de identificación mediante códigos QR. El sistema implementado permitió trazabilidad total por SKU y ubicación, reduciendo errores de captura y modernizando el control de inventario.
5. Se alcanzó el **objetivo 5**, enfocado en la implementación por fases. La ejecución piloto con productos de alta rotación permitió registrar el 100 % de las salidas mediante QR, validando la eficacia operativa antes de su expansión total.
6. Se alcanzó el **objetivo 6**, referido a la comparación de precisión antes y después de la implementación. La exactitud aumentó de 66.24 % a 94.29 %, y el error se redujo de 26.18 % a 2.42 %, demostrando la efectividad del sistema digital para disminuir discrepancias y pérdidas.
7. Se alcanzó el **objetivo 7**, correspondiente a la evaluación de la satisfacción del usuario. Las encuestas tipo Likert mostraron mejoras en facilidad de uso (2.67 a 4.08), eficiencia (2.44 a 4.33) y satisfacción general (3.00 a 4.22), evidenciando la aceptación del sistema.

8. Se alcanzó el **objetivo general**, orientado al diseño e implementación de un sistema integral de gestión de inventarios físico–digital. La integración de mejoras estructurales, tecnológicas y organizativas resultó en un sistema trazable, preciso y sostenible que resolvió el problema inicial de control y fortaleció la eficiencia operativa de la organización.

---

### Recomendaciones

---

1. Estandarizar el uso de códigos QR en los procesos de entrada y devolución de materiales para asegurar la trazabilidad completa y eliminar registros manuales, conforme al requisito **SGI-S01**.
2. Implementar parámetros automáticos de reabastecimiento basados en puntos de reorden y lotes óptimos definidos según la demanda real, además de realizar conteos cíclicos periódicos para garantizar la confiabilidad del inventario y el cumplimiento del requisito **SGI-S02**.
3. Supervisar mensualmente el rendimiento del sistema, controlando el tiempo de respuesta p95 y el máximo registrado, de forma que las consultas se mantengan por debajo de los dos segundos conforme al requisito **SGI-S03**.
4. Verificar de manera automática la sincronización con la nube cada cinco minutos, conservando respaldos y bitácoras de restauración de acuerdo con el requisito **SGI-S04** para fortalecer la seguridad y disponibilidad de la información.
5. Mantener la identificación visible y permanente de las ubicaciones mediante códigos legibles a un metro de distancia, con revisiones trimestrales de legibilidad y correspondencia física y digital, conforme a los requisitos **SGI-S05**, **SGI-H02** y **DB-A02**.
6. Auditar mensualmente el cumplimiento del principio PEPS y activar alertas automáticas cuando el porcentaje de cumplimiento por SKU-ubicación descienda del cien por ciento, garantizando la correcta rotación de inventarios bajo el requisito **SGI-S06**.
7. Garantizar que los dispositivos móviles y lectores mantengan una autonomía mínima de ocho horas continuas y compatibilidad con impresoras de etiquetas, cumpliendo los requisitos **SGI-H01** y **SGI-H03**, para evitar interrupciones operativas.
8. Conservar la segregación física y digital de los materiales en liquidación o identificados como defectuosos, evitando su mezcla con productos activos y cumpliendo los requisitos **SGI-S10** y **DB-P03** para mantener la integridad del control de inventario.

9. Realizar inspecciones estructurales periódicas de las estanterías, verificando la carga máxima por nivel y registrando la evidencia de cada revisión conforme al requisito **DB-S01**, a fin de garantizar la seguridad del personal y de los materiales almacenados.
10. Revisar semestralmente la disposición del layout y la ubicación de productos de alta rotación para mantenerlos a no más de 2.5 metros de la entrada, asegurar pasillos libres y cumplir con los requisitos **DB-P01**, **DB-P02** y **DB-E01**, fortaleciendo la eficiencia del espacio y los flujos de acceso.

- Acosta Prieto, J. L., Ulloa Felipe, A. B., & Monzón Alfaro, Y. (2024). Procedimiento para la gestión de inventario en Empresa Industrial Ferroviaria José Valdés Reyes. *Avances*, 26(2), 163-176. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=730c3bc2-2708-3395-8b4f-96ee12182937>
- Aluguri, S. V., Maddiveni, S., Kandibanda, S. T. G., Kotakonda, B., & Anusha, M. C. (2023). RFID Based Inventory Management System. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(10), 1363-1369. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.56210>
- AR Racking Inc. (2025). ABC method for stock levels: What is it? | AR Racking Inc. Consultado el 25 de abril de 2025, desde <https://www.ar-racking.com/us/blog/abc-inventory-method-in-the-warehouse-origin-characteristics-and-advantages/>
- B. Sai Subrahmanya Tejesh, S. N. (2018). Warehouse inventory management system using IoT and open source framework. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 3817-3823.
- Duque-Jaramillo, J. C., Cogollo-Flórez, J. M., Gómez-Marín, C. G., & Correa-Espinal, A. A. (2024). Warehouse management optimization using a sorting-based slotting approach. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 17(1), 133. <https://doi.org/10.3926/jiem.5661>
- Ferretería EPA S.A. (s.f.). Estante acero uso pesado 4 niveles 195.6 x183 x 61 cm 900 kg por nivel. carga máxima 3600 kg negro. Consultado el 4 de junio de 2025, desde <https://gt.epaenlinea.com/estante-acero-uso-pesado-4-niveles-195-6-x183-x-61-cm-900-kg-por-nivel-carga-maxima-3600-kg-negro.html>
- Gan Jhui Ken, S. S. A., Heshalini Rajagopal. Pharmacy Warehouse Management System. En: *PROCEEDINGS OF THE 2023 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL LIFE AND ROBOTICS*. 2023.
- Habsi, J. A., Kalbani, A. S. A., & Ullah, A. (2023). Identification of the benefits of the usage of information technology in managing warehouses in supply chain. *Journal of Economics and Management Sciences*, 6(1), p1. <https://doi.org/10.30560/jems.v6n1p1>
- INEOS Olefins & Polymers USA. (2014). *Typical Engineering Properties of Polypropylene* (inf. téc.) (Consultado el 4 de junio de 2025). INEOS Olefins & Polymers USA. <https://www.ineos.com/~/media/Files/Products/Polypropylene/PP-Properties-EN.pdf>

---

[//www.ineos.com/globalassets/ineos-group/businesses/ineos-olefins-and-polymers-usa/products/technical-information--patents/ineos-engineering-properties-of-pp.pdf](http://www.ineos.com/globalassets/ineos-group/businesses/ineos-olefins-and-polymers-usa/products/technical-information--patents/ineos-engineering-properties-of-pp.pdf)

- Istiqomah, N. A., Sansabilla, P. F., Himawan, D., & Rifni, M. (2020). The Implementation of Barcode on Warehouse Management System for Warehouse Efficiency. *Journal of Physics: Conference Series*, 1573, 012038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1573/1/012038>
- Jarašūnienė, A., Čižiūnienė, K., & Čereška, A. (2023). Research on Impact of IoT on Warehouse Management. *Sensors*, 23(4), 2213. <https://doi.org/10.3390/s23042213>
- Kenton, W. (2025, 20 de septiembre). *Maximize Profits with GMROI: Definition, Formula, and Retail Insights* [Reviewed by Khadija Khartit. Member of the Financial Review Board, FINRA Series 7, 63, and 66 license holder.]. Investopedia. Consultado el 15 de octubre de 2025, desde <https://www.investopedia.com/terms/g/gmroi.asp>
- Kumar, S., Narkhede, B. E., & Jain, K. (2021). Revisiting the warehouse research through an evolutionary lens: a review from 1990 to 2019. *International Journal of Production Research*, 59(11), 3470-3492. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1867923>
- Liu, W., Ding, Z., & Zhou, L. (2020). A Study of Layout Determination of Mobile Rack Warehouse. *Proceedings of the 10th International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS)*, 96-101. <https://doi.org/10.3934/environsci.2023026>
- Marqués, A. O., Domínguez, S. P. P., Durán, J. I. T., & Gómez, A. R. (2017). Nivel de importancia del control interno de los inventarios dentro del marco conceptual de una empresa. *Liderazgo Estratégico*, 7(1), 71-82. Consultado el 7 de octubre de 2025, desde <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/liderazgo/article/view/3261>
- Noguerra Jr, C. P. (2023). Design and Evaluation of an Innovative Mobile Solution: QR Code-based Inventory Monitoring System. *International Journal of Advanced Engineering and Management Research*, 08(3), 231-242. <https://doi.org/10.51505/ijaemr.2023.8317>
- PostgreSQL Global Development Group. (2024). About PostgreSQL [Recuperado de <https://www.postgresql.org/about/>].
- Praveen K B & Bangalore Institute Of Technology. (2020). Inventory management using machine learning. *International Journal of Engineering Research and*, V9(6), IJERTV9IS060661. <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS060661>
- Rana, A. (2023). An Analysis of Warehouse Management Systems. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 11(6), 1154-1157. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.53808>
- Replit. (2024). Replit Docs [Recuperado de <https://docs.replit.com/>].
- Retool, Inc. (2024). Retool Docs [Recuperado de <https://docs.retool.com/>].
- Rizqi, R. I., Rohma, N. A., & Nimkerdphol, D. K. (2018). Inventory Management System Using QR Code on Android a Case Study in Computer Engineering Department. *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, 3(1), 381-388. <https://doi.org/10.54732/jeeecs.v3i1.144>
- Romero, J., & Paredes, F. (2020). *Diseño de almacenes industriales: principios y aplicaciones*. Editorial Técnica.
- Shin, D. Y., Lee, J., & Seok, H. (2023). A study of layout determination of mobile rack warehouse. *AIMS Environmental Science*, 10(4), 467-477. <https://doi.org/10.3934/environsci.2023026>
- Shinsato Junior, C., De Mattos Veroneze, G., Maciel Da Costa Craveiro, J., & Maciel Neto, T. (2023). Proposal of an inventory control system based on the flow of materials in

- a warehouse using Excel/VBA. *Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial - ISSN - 1983-1838*, 16(1). <https://doi.org/10.18624/etech.v16i1.1246>
- Shukran, M. A. M., Ishak, M. S., & Abdullah, M. N. (2017). Enhancing Chemical Inventory Management in Laboratory through a Mobile-Based QR Code Tag [Publisher: IOP Publishing]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 226(1), 012093. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/226/1/012093>
- Sindhuja CNC, Vem Sahithi & Shivani Yadao. (2022). INVENTORY MANAGEMENT SYSTEM USING MACHINE LEARNING. *International Journal For Innovative Engineering and Management Research*, 769-785. <https://doi.org/10.48047/IJIEMR/V11/I06/51>
- Strom, S., Kurt, N., & Woland, J. (2013). *Site Engineering for Landscape Architects* (6th edition). Wiley.
- Tikwayo, L. N., & Mathaba, T. N. D. (2023). Applications of Industry 4.0 Technologies in Warehouse Management: A Systematic Literature Review. *Logistics*, 7(24). <https://doi.org/10.3390/logistics7020024>
- Zhou, X. (2020). Research on the application of data encryption technology in computer security. *Journal of Physics: Conference Series*, 1648(3), 032095. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1648/3/032095>

## CAPÍTULO XIII

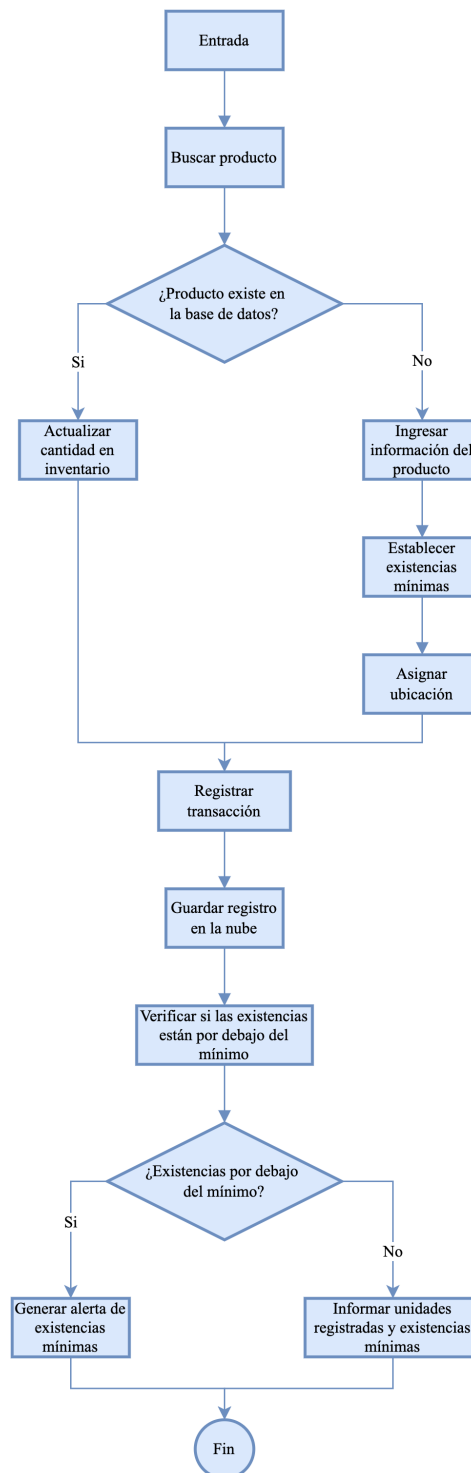
---

Anexos

---

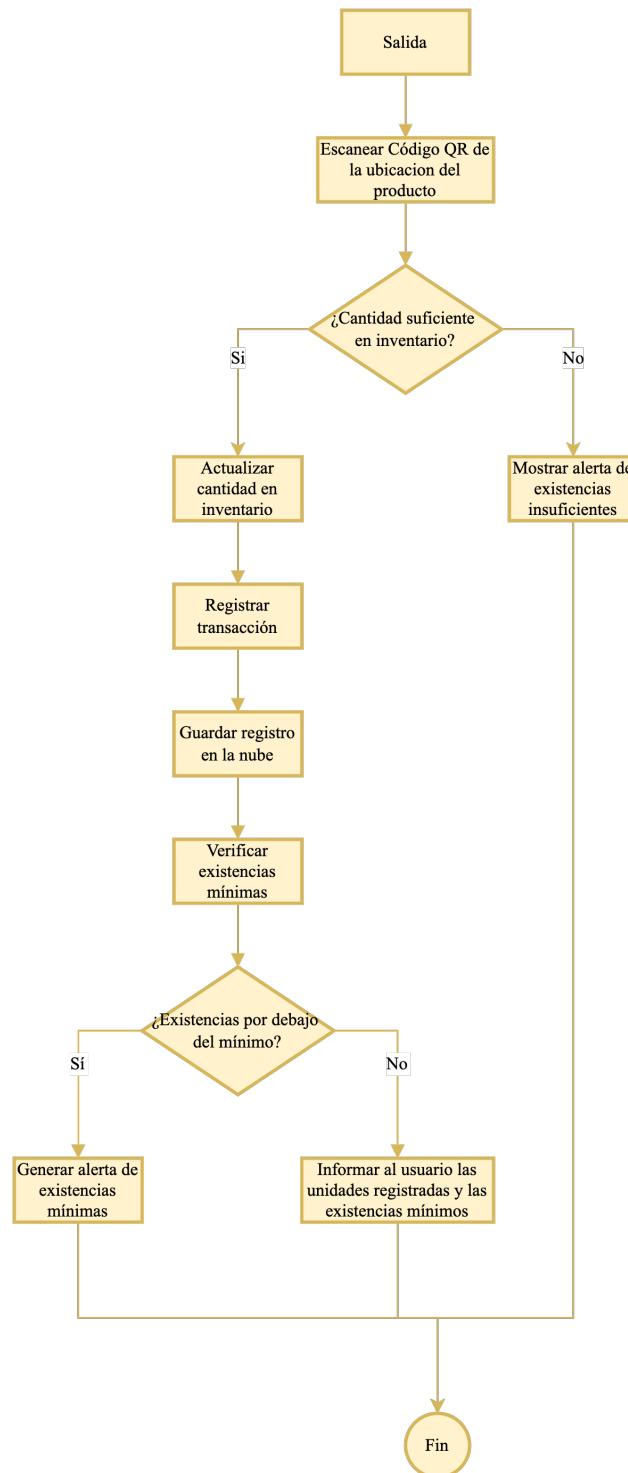
## A. Diagramas funcionales del sistema IMS

Figura 31: Flujo funcional del módulo de entradas del sistema IMS



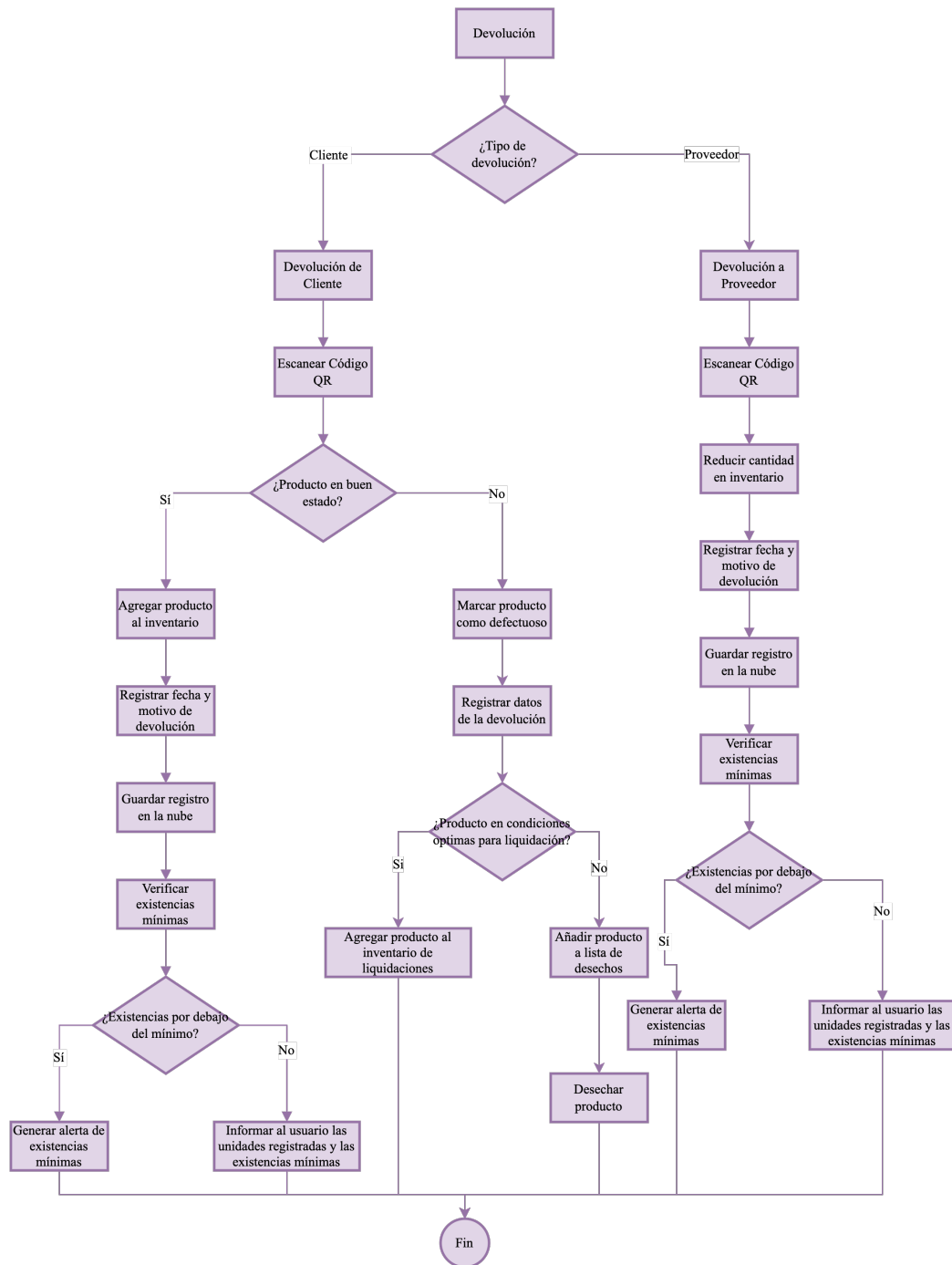
Fuente: Elaboración propia.

Figura 32: Flujo funcional del módulo de salidas del sistema IMS



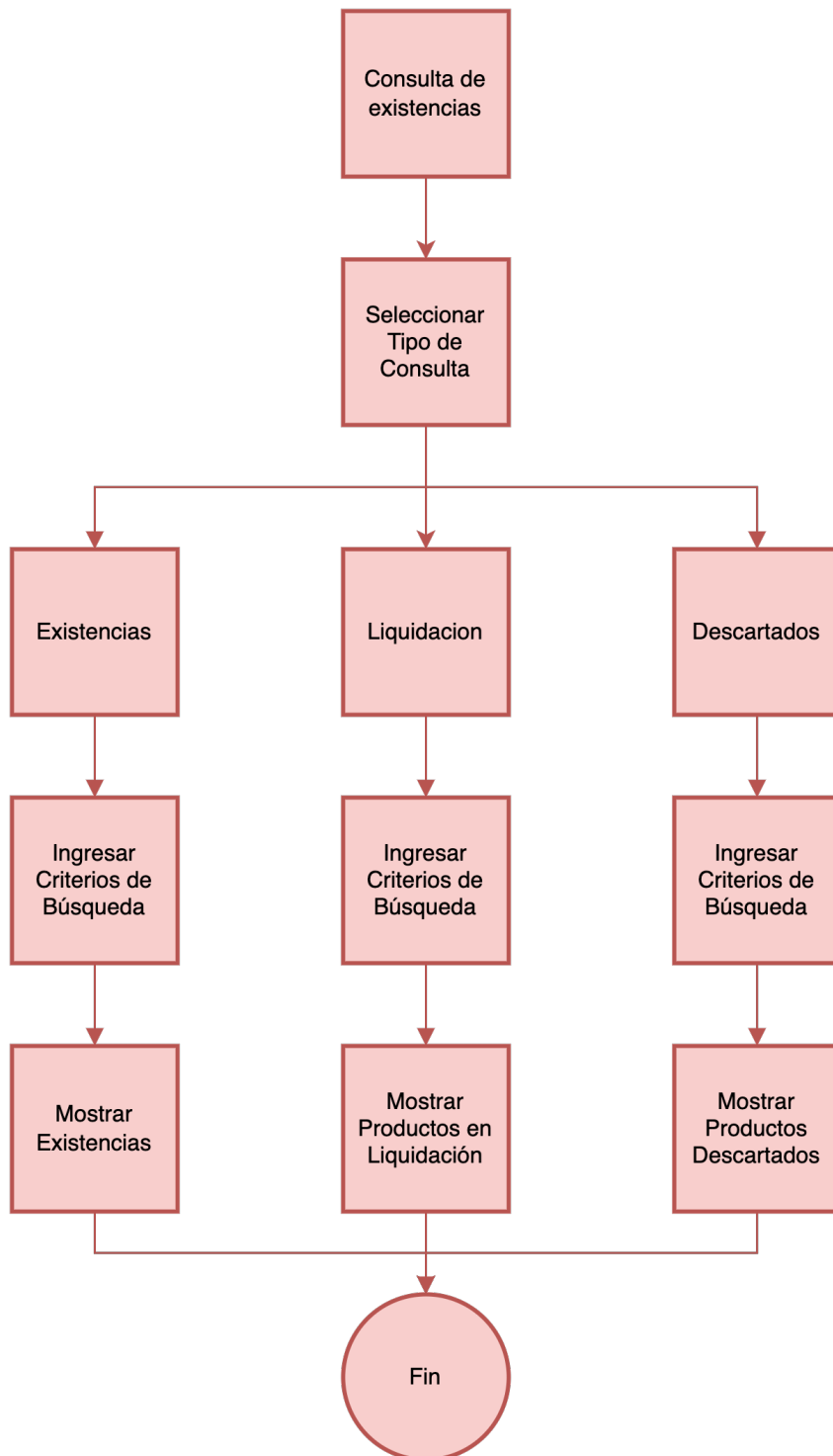
Fuente: Elaboración propia.

Figura 33: Flujo funcional del módulo de devoluciones del sistema IMS



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34: Flujo funcional del módulo de consultas del sistema IMS



Fuente: Elaboración propia.

## **B. Encuesta de comparación de experiencia entre el sistema anterior y el nuevo sistema SGI**

El propósito de esta encuesta es conocer su experiencia utilizando el nuevo sistema digital de gestión de inventarios (SGI) y compararla con la forma anterior de trabajo (papel, lápiz y hojas de Excel). Sus respuestas ayudarán a identificar mejoras y a verificar si el nuevo sistema facilita las tareas diarias.

- 1 = Muy negativo / Muy difícil
- 2 = Negativo / Difícil
- 3 = Neutral / Regular
- 4 = Positivo / Fácil
- 5 = Muy positivo / Muy fácil

En las preguntas de frecuencia y rapidez, la escala se adaptó considerando un horizonte de dos meses.

### **Sección 1: perfil del encuestado**

1. ¿Cuál es su función principal en la bodega?
2. ¿Cuántos años de experiencia tiene en el manejo de inventarios?
3. ¿Con qué frecuencia utiliza el sistema de inventarios en su trabajo diario?

### **Sección 2: usabilidad**

1. ¿Qué tan fácil fue registrar información con el sistema anterior (papel y Excel)?
2. ¿Qué tan fácil es registrar información con el sistema digital?
3. ¿Qué tan fácil fue encontrar productos en el sistema anterior?
4. ¿Qué tan fácil es encontrar productos en el sistema digital?
5. ¿Qué tan claros fueron los términos utilizados en el sistema anterior?
6. ¿Qué tan claros son los términos utilizados en el sistema digital?
7. ¿Qué tan comprensible era el proceso de entradas y salidas en el sistema anterior?
8. ¿Qué tan comprensible es el proceso de entradas y salidas en el sistema digital?

### **Sección 3: velocidad y desempeño**

1. ¿Qué tan rápida era la actualización de datos en el sistema anterior?
2. ¿Qué tan rápida es la actualización de datos en el sistema digital?
3. En los últimos dos meses, ¿cómo calificaría la rapidez con la que pudo consultar información en el sistema digital?
4. En los últimos dos meses, ¿cómo calificaría la rapidez con la que pudo registrar entradas o salidas en el sistema digital?

### **Sección 4: errores y exactitud**

1. ¿Qué tan frecuente era cometer errores al registrar datos en el sistema anterior?
2. ¿Qué tan frecuente ha sido cometer errores al registrar datos en el sistema digital?
3. En los últimos dos meses, ¿con qué frecuencia notó diferencias entre el inventario físico y el registrado en el sistema digital?

### **Sección 5: satisfacción general**

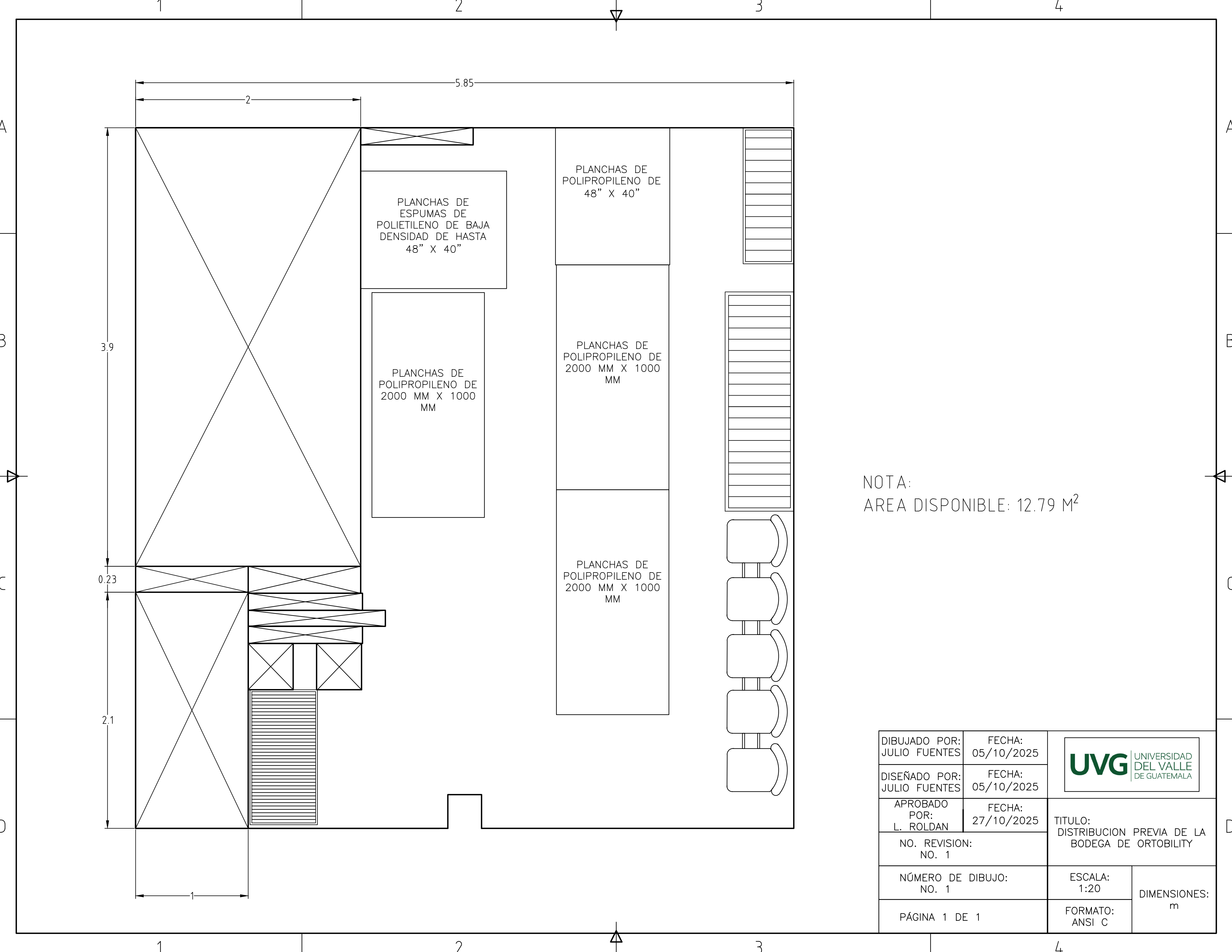
1. ¿Qué tan fácil le resultó usar papel y Excel?
2. ¿Qué tan fácil le resulta usar el escáner QR y la aplicación digital?
3. ¿Qué tan claras fueron las instrucciones para usar el sistema anterior?
4. ¿Qué tan claras son las instrucciones para usar el sistema digital?
5. ¿En qué medida percibe que el nuevo sistema mejoró su trabajo?
6. ¿Qué tan satisfecho está con la transición al sistema digital?

### **Notas**

Las respuestas se recopilaron en Microsoft Forms, y se mantuvo el anonimato de los participantes. Los resultados de esta encuesta se presentan y analizan en la sección de Resultados del documento.

## **C. Plano de la distribución previa de la bodega**

A continuación se presenta el plano correspondiente a la distribución previa de la bodega donde los productos que mas espacio ocupaban reducían el espacio de acceso de los operadores. Se puede observar también que no existen zonas de almacenamiento ni se contemplan zonas auxiliares como una zona de empaquetado o liquidaciones.



PLANCHAS DE  
ESPUMAS DE  
POLIETILENO DE BAJA  
DENSIDAD DE HASTA  
48" X 40"


PLANCHAS DE  
POLIPROPILENO DE  
2000 MM X 1000  
MM

PLANCHAS DE  
POLIPROPILENO DE  
48" X 40"

PLANCHAS DE  
POLIPROPILENO DE  
2000 MM X 1000  
MM

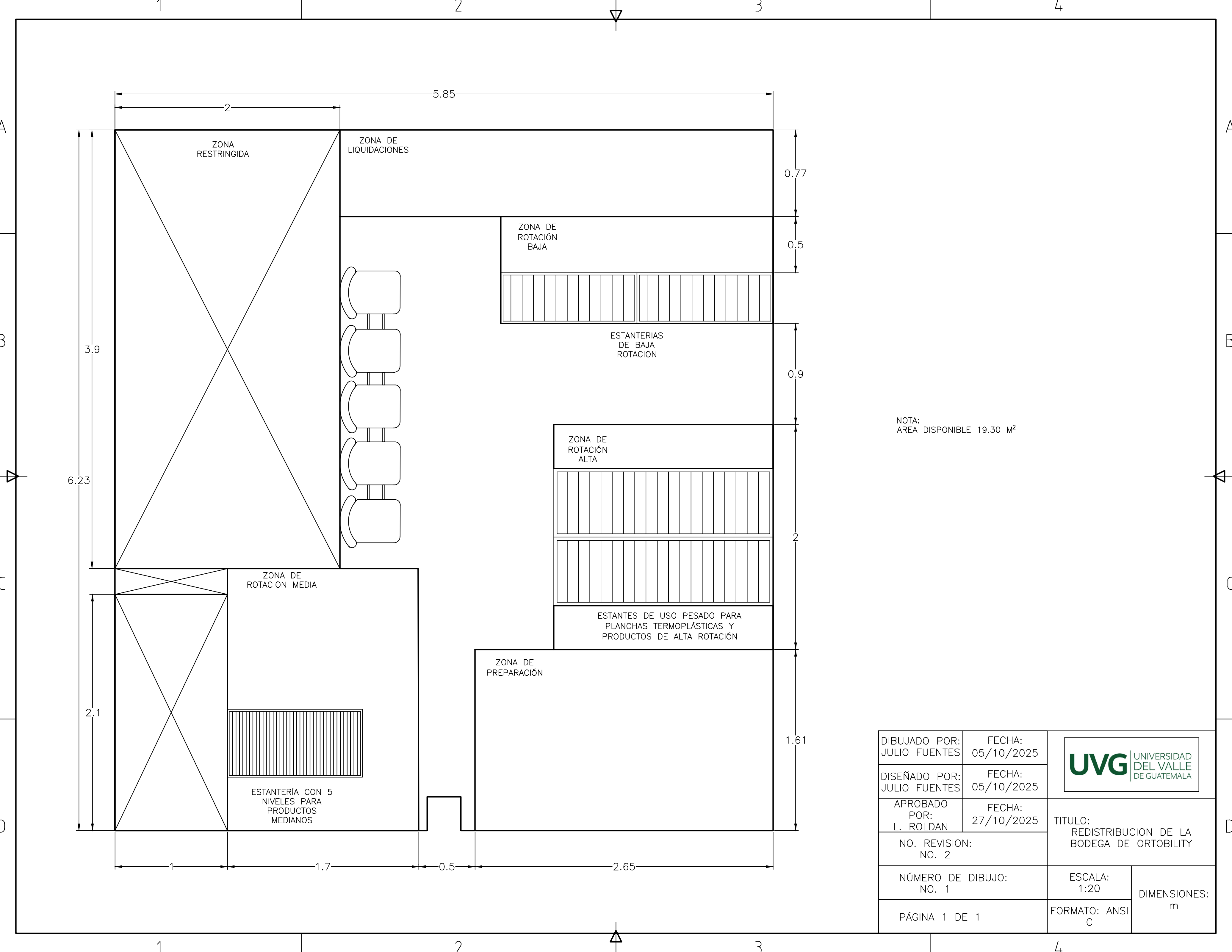
PLANCHAS DE  
POLIPROPILENO DE  
2000 MM X 1000  
MM

NOTA:  
AREA DISPONIBLE: 12.79 M<sup>2</sup>

DIBUJADO POR: JULIO FUENTES	FECHA: 05/10/2025		
DISEÑADO POR: JULIO FUENTES	FECHA: 05/10/2025		
APROBADO POR: L. ROLDAN	FECHA: 27/10/2025	<b>TITULO:</b> DISTRIBUCION PREVIA DE LA BODEGA DE ORTOBILITY	
NO. REVISION: NO. 1			
NÚMERO DE DIBUJO: NO. 1		ESCALA: 1:20	DIMENSIONES: m
PÁGINA 1 DE 1		FORMATO: ANSI C	

## D. Plano de redistribución de la bodega

A continuación se presenta el plano correspondiente al rediseño físico del almacén, elaborado en formato ANSI C en metros. En él se visualizan las nuevas zonas de rotación, los pasillos de circulación y la disposición optimizada del mobiliario. Este plano respalda gráficamente las decisiones descritas en la Fase **E** y constituye una referencia clave para la implementación del sistema de ubicación por códigos QR.



NOTA:  
AREA DISPONIBLE 19.30 M<sup>2</sup>

DIBUJADO POR: JULIO FUENTES	FECHA: 05/10/2025	
DISEÑADO POR: JULIO FUENTES	FECHA: 05/10/2025	
APROBADO POR: L. ROLDAN	FECHA: 27/10/2025	<b>TITULO:</b> REDISTRIBUCION DE LA BODEGA DE ORTOBILITY
NO. REVISION: NO. 2		
NÚMERO DE DIBUJO: NO. 1		ESCALA: 1:20
PÁGINA 1 DE 1		FORMATO: ANSI C
		DIMENSIONES: m

## E. Comparación visual del estado anterior y actual de la bodega

Figura 35: Estado previo de la bodega antes de la redistribución



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36: Estado actual de la bodega tras la redistribución



Fuente: Elaboración propia.

## F. Ejemplo de hoja de registro durante inactividad del sistema

Cuadro 30: Ejemplo de hoja de registro durante la inactividad del sistema digital

Fecha	Hora	Tipo	SKU	Descripción	Cant.	Ubicación	Operador	Cliente	Comprobante	Estado	Fecha act.	Verificado por
15/08/2025	10:42	Salida	SPDTHD32-6	Articulación de rodilla policéntrica	2	A1-B2	Carlos XXYZZ	Clínica Rehabilita	FAC-0245	Pendiente	—	Ana XXYZZ
15/08/2025	14:10	Entrada	616T20-2000x5	Tubo de aluminio 20 mm	10	C2-D1	Maria XXYZZ	Ortopedia Central	NE-0341	Actualizado	16/08/2025	Luis XXYZZ
16/08/2025	09:18	Devolución	LNRSP10	Líner de silicón 10 mm	1	B3-C4	José XXYZZ	Fundación Movilidad	DEV-009	Actualizado	17/08/2025	Ana XXYZZ

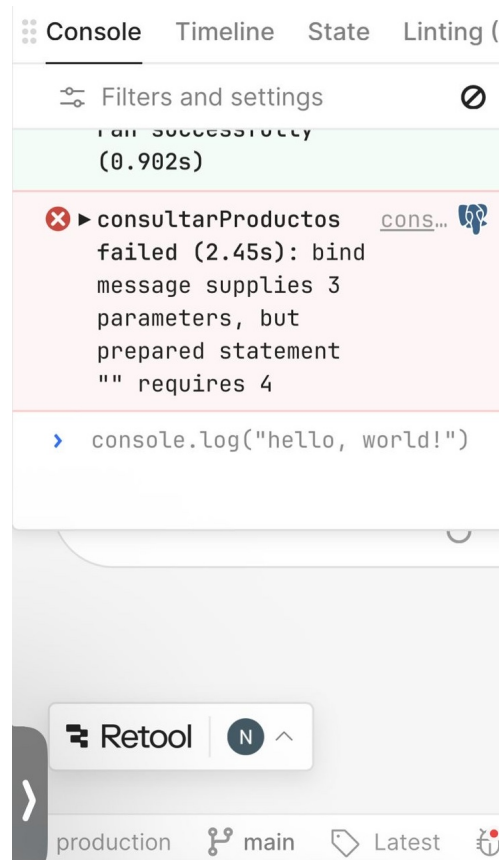
Fuente: Elaboración propia.

*Nota: Los nombres de personas y clínicas utilizados en este Cuadro son ficticios y no hacen referencia a individuos o entidades reales.*

Se presenta un ejemplo del formato de hoja de cálculo utilizado para el registro manual de movimientos de inventario durante periodos de inactividad del sistema digital, conforme al Cuadro 7.

## G. Registro de fallas del sistema

Figura 37: Registro del error en la visualización de consultas durante la prueba del 22 de septiembre de 2025



Fuente: Elaboración propia.