

Vertical Metal Racks to Increase Capacity and Reduce Dispatch Time in a Battery Warehouse: Case Study

Juan Arturo Blondet Taboada, Bachelor of Engineering¹; Michel Brando Chanzapa López, Bachelor of Engineering²; Kelly Milena Polo Herrera, Master of Science³; Marco Antonio Díaz Díaz, Master of Science⁴
^{1, 2, 3, 4}Universidad Privada del Norte, Perú, n00263167@upn.pe; n00065427@upn.pe; kelly.polo@upn.edu.pe,
kellypoloh@gmail.com; marco.diaz@upn.edu.pe

Abstract—In many industrial warehouses, floor-level storage restricts the use of available cubic space and tends to prolong outbound operations. This study reports an applied case in an industrial battery warehouse in Peru, where a vertical storage system using five-level metal racks was implemented to increase capacity and reduce dispatch time. A quasi-experimental before–after design without a control group was used, comparing 12 weeks prior to the intervention with 12 weeks after implementation. Approximately 180 dispatches were recorded for each condition, and for inferential analysis, weekly averages were paired by product family, order volume, and shift ($n = 12$ pairs). The main performance indicators were installed capacity (available storage positions for unit loads) and dispatch time per unit load, measured through time studies and operational records. After rack installation and warehouse layout reorganization, capacity increased from 125 to 200 unit loads (+60%), and average dispatch time decreased from 50 to 15 minutes (–70%), with statistically significant improvement in dispatch time (paired t -test, $p < 0.001$). Total investment was US\$ 4,434, and the estimated annual labor-hour savings reached US\$ 1,817, resulting in an approximate payback period of 2.44 years. Overall, the results show that vertical racking, even with a moderate investment, can tangibly improve space utilization and warehouse operational performance.

Keywords— Vertical storage, Metal racking system, Warehouse layout, Space utilization, Dispatch cycle time

Racks metálicos verticales para aumentar capacidad y reducir tiempo de despacho en almacén de baterías: Caso de Estudio

Juan Arturo Blondet Taboada, Bachelor of Engineering¹; Michel Brando Chanzapa López, Bachelor of Engineering²; Kelly Milena Polo Herrera, Master of Science³; Marco Antonio Díaz Díaz, Master of Science⁴
^{1, 2, 3, 4}Universidad Privada del Norte, Perú, n00263167@upn.pe; n00065427@upn.pe; kelly.polo@upn.edu.pe, kellypoloh@gmail.com; marco.diaz@upn.edu.pe

Resumen– En muchos almacenes industriales, el almacenamiento a nivel de piso limita el uso del volumen disponible y termina alargando las operaciones de salida. Este estudio presenta un caso aplicado en un almacén de baterías industriales en el Perú, donde se implementó un sistema de almacenamiento vertical con racks metálicos de cinco niveles para aumentar la capacidad y reducir el tiempo de despacho. Se trabajó con un diseño cuasiexperimental before–after sin grupo de control, comparando 12 semanas antes y 12 semanas después de la intervención. En total se registraron aproximadamente 180 despachos por condición, y para el análisis inferencial se emparejaron promedios semanales por familia de producto, volumen de pedido y turno ($n = 12$ pares). Los indicadores principales fueron la capacidad instalada (posiciones disponibles para unidades de carga) y el tiempo de despacho por unidad de carga, medido mediante cronometraje y registros operativos. Tras la instalación y reorganización del layout, la capacidad pasó de 125 a 200 unidades de carga (+60%) y el tiempo promedio de despacho se redujo de 50 a 15 minutos (–70%), con evidencia estadística de mejora en el indicador de tiempo (t pareada, $p < 0.001$). La inversión total fue de US\$ 4,434 y el ahorro anual estimado por reducción de horas-hombre alcanzó US\$ 1,817, lo que da un periodo de recuperación aproximado de 2.44 años. En conjunto, los resultados muestran que el racking vertical, aun con una inversión moderada, puede mejorar de forma tangible el aprovechamiento del espacio y el desempeño operativo del almacén.

Palabras clave– almacenamiento vertical; racks metálicos; layout de almacén; eficiencia operativa; tiempo de despacho.

I. INTRODUCCION

En este contexto, las soluciones de almacenaje vertical se han consolidado como una alternativa práctica para aprovechar el volumen cúbico disponible, mejorar el orden y facilitar la accesibilidad a los productos, especialmente en instalaciones con restricciones de espacio [1], [2].

En este contexto, las soluciones de almacenaje vertical se han consolidado como una alternativa práctica para aprovechar el volumen cúbico disponible, mejorar el orden y facilitar la accesibilidad a los productos, especialmente en instalaciones con restricciones de espacio [3].

En este estudio, la eficiencia operativa se define de manera operacional como la capacidad del sistema de almacenamiento para maximizar el uso del espacio disponible y, al mismo tiempo, minimizar el tiempo requerido para completar el despacho de una unidad de carga, manteniendo condiciones adecuadas de seguridad, orden y maniobrabilidad en el proceso.

La empresa analizada se dedica a la producción y ensamblaje de baterías industriales de plomo-ácido,

combinando componentes importados con fabricación interna de estructuras metálicas. Esta operación exige un manejo cuidadoso por el peso y volumen de las unidades de carga, así como por la necesidad de mantener un flujo de salida ágil hacia las áreas de despacho [4]. Antes del proyecto, el almacén operaba con almacenamiento a nivel de piso, utilizando únicamente el 42% del volumen cúbico útil. La capacidad instalada era de 125 unidades de carga y el tiempo promedio de despacho alcanzaba los 50 minutos. El layout presentaba baja eficiencia volumétrica, accesibilidad frontal limitada y requería reubicaciones manuales repetitivas, lo que incrementaba el esfuerzo físico y el riesgo operativo asociado a la manipulación de cargas [5]–[8]. En conjunto, estas condiciones generaban demoras, congestión en pasillos y una dependencia elevada de maniobras correctivas para completar los despachos.

La literatura reciente señala que el almacenamiento vertical, particularmente en configuraciones con soporte de tecnologías de control y trazabilidad, puede mejorar el uso del espacio y el desempeño logístico, reduciendo tiempos asociados a búsqueda, reacomodo y preparación de pedidos [9]. De igual forma, diversos estudios destacan que el diseño del layout influye directamente en indicadores clave como el lead time, el nivel de servicio, la ocupación del almacén y la productividad del proceso de *picking* y despacho [10]. Asimismo, una disposición adecuada de estanterías y ubicaciones contribuye a disminuir riesgos ergonómicos y a mejorar la seguridad y eficiencia en operaciones internas [11].

Sin embargo, una parte importante de la evidencia disponible se concentra en soluciones de alta inversión (por ejemplo, sistemas automatizados o equipamiento especializado), mientras que existe una brecha en investigaciones aplicadas que documenten, con medición real en planta, el impacto de alternativas verticales de bajo costo en empresas industriales medianas, especialmente en contextos con restricciones presupuestales. En ese sentido, el presente trabajo aporta evidencia cuantitativa sobre el efecto de la implementación de racks metálicos en la eficiencia operativa de un almacén industrial, considerando tres dimensiones de interés: capacidad instalada, tiempo de despacho y costos de inversión.

Para ello, se implementó un sistema de almacenamiento vertical mediante racks metálicos orientado a maximizar el uso del volumen cúbico disponible, mejorar la accesibilidad a las ubicaciones y facilitar la manipulación y trazabilidad de los insumos, evaluando su aplicabilidad como una solución replicable en otros entornos industriales con limitaciones de espacio [12], [13]. La Fig. 1 muestra el estado original del almacén, donde se aprecia el almacenamiento a nivel de piso y las limitaciones asociadas a espacio y accesibilidad



Fig. 1 Estado original del almacén con almacenamiento a nivel de piso (Fuente: Elaboración propia, 2025)

II. MARCO TEÓRICO

A. Gestión de almacenes en la industria

El almacén constituye una unidad estratégica dentro de la cadena de suministro, con funciones que abarcan desde la recepción hasta el despacho de insumos, asegurando eficiencia, precisión y seguridad [14]. Una gestión de almacenes eficiente impacta directamente en la reducción de costos logísticos, en la mejora de la satisfacción del cliente y en la maximización del volumen utilizable [15].

Una buena gestión de almacenes tiene impacto directo en la reducción de costos logísticos, mejora la atención al cliente y permite aprovechar al máximo el espacio físico disponible [15].

El diseño de un layout de almacén requiere considerar la rotación de inventario, el peso y volumen de las cargas, las restricciones de acceso y las características del flujo interno de materiales [16]. Según el Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), la eficiencia logística es la capacidad de alcanzar el máximo rendimiento operativo minimizando el consumo de recursos, manteniendo la calidad y seguridad en el servicio [17].

B. Sistemas de almacenamiento vertical

Los sistemas de almacenamiento vertical, como racks o estanterías metálicas, permiten optimizar la superficie cúbica del almacén mediante la organización de unidades de carga en distintos niveles, incrementando la capacidad instalada sin ampliar el área física y mejorando la accesibilidad a los productos [18], [19]. Estudios recientes reportan reducciones

de hasta 40% en los tiempos de preparación de pedidos y mejoras en indicadores como nivel de servicio y ocupación del espacio, especialmente en sistemas automatizados [20], [21]. La selección del tipo de rack debe considerar criterios técnicos como carga por nivel, tipo de unidad de carga y compatibilidad con equipos de manipulación [13], [22].

C. Eficiencia operativa en procesos logísticos

La eficiencia operativa, conforme a la norma ISO 9001:2015, se asocia a la ejecución de procesos con mínimo consumo de recursos, cumpliendo requisitos de calidad y seguridad [23]. En almacenamiento, implica reducir tiempos de despacho, optimizar recorridos y eliminar actividades sin valor agregado [17], [24]. El rediseño de layouts apoyado en análisis de tiempos y movimientos ha demostrado ser efectivo para mejorar KPIs logísticos y eliminar cuellos de botella [16], [25].

D. Enfoque de mejora continua

La mejora continua se basa en metodologías como PDCA, Kaizen, 5S y Six Sigma, orientadas a optimizar procesos de forma sistemática y medible [26], [27], [28]. En la gestión de almacenes, estas herramientas facilitan la identificación de problemas, la implementación de soluciones y la evaluación objetiva de resultados.

El ciclo PDCA aplicado al rediseño de layout implica:

Plan (Planificar): análisis de datos de línea base, detección de cuellos de botella y evaluación de alternativas de layout.

Do (Hacer): implementación de la solución seleccionada, ajustada a las restricciones operativas.

Check (Verificar): medición de los resultados frente a los KPIs definidos.

Act (Actuar): estandarización de las mejoras y planificación de nuevas optimizaciones.

En la figura 2 se ve el diagrama estilo flowchart con las fases Plan–Do–Check–Act aplicadas al rediseño de layout.

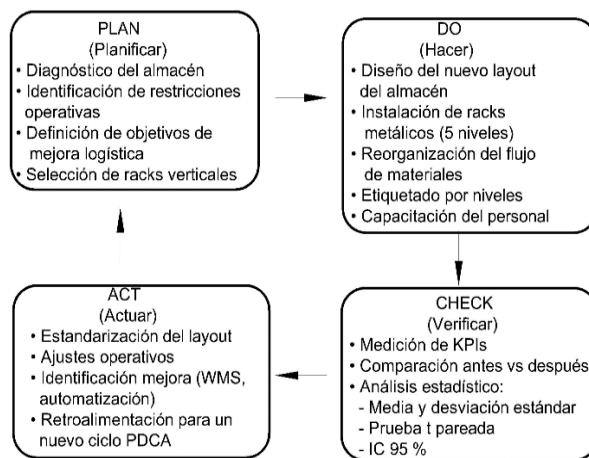


Fig. 2 Aplicación del ciclo PDCA al rediseño de layout del almacén (Fuente: Elaboración propia, 2025).

E. Tipología de racks y su aplicabilidad

En la Tabla 1 se presenta un cuadro comparativo de los principales tipos de racks utilizados en entornos industriales, considerando su capacidad de carga, versatilidad, costo y aplicaciones recomendadas [13], [19], [22].

TABLA I
COMPARACIÓN DE TIPOS DE RACKS, VENTAJAS Y
LIMITACIONES EN ENTORNOS INDUSTRIALES

Tipo de rack	Capacidad de carga (kg/nivel)	Aplicaciones típicas (uso recomendado)	Ventajas principales (característica)	Limitaciones (restricciones)
Selectivo	500–3000	Almacenes con alta rotación	Acceso directo a todas las cargas	Menor densidad de almacenamiento
Doble profundidad	500–2000	Productos con menor rotación	Mayor densidad que el selectivo	Acceso limitado a cargas traseras
Drive-in / Drive-through	1000–2000	Grandes volúmenes de SKU homogéneo	Aprovecha espacio en profundidad	Baja selectividad
Push-back	1000–1500	Productos medianamente rotativos	Carga y descarga rápida	Mayor costo inicial
Cantilever	Variable según diseño	Materiales largos o irregulares	Flexibilidad para cargas de gran longitud	No apto para pallets convencionales

(Fuente: Elaboración propia, sos5)

La incorporación de este análisis comparativo permite seleccionar la solución más adecuada según el tipo de carga y el patrón de rotación, garantizando un equilibrio entre capacidad, selectividad y costo.

III. METODOLOGIA

A. Tipo de investigación

El estudio se enmarca en investigación aplicada, dado que busca resolver un problema logístico real mediante una intervención técnica implementada en un contexto industrial [14]. Se adopta un enfoque cuantitativo y descriptivo–explicativo, apoyado en estándares y buenas prácticas de gestión de calidad y operaciones (p. ej., CSCMP para definiciones logísticas, ISO 9001 para gestión de procesos, y directrices de seguridad ocupacional del INSST) [8], [17], [23].

B. Diseño de investigación

Se utiliza un diseño cuasiexperimental before–after (pretest–posttest) sin grupo de control, frecuente en entornos industriales donde la aleatorización o la interrupción del servicio no son viables por limitaciones operativas y continuidad de negocio [21], [22]. La fase pre (datos de línea base) captura el desempeño del sistema previo (almacenamiento en piso), y la fase post evalúa el desempeño tras la implementación del sistema de racks. Para asegurar comparabilidad, se aplicó emparejamiento operativo por familia de producto, volumen de pedido y turno, minimizando sesgos de mezcla entre periodos [14], [20] [21].

C. Población, muestra y periodo de observación

La población corresponde a las operaciones de almacenamiento y despacho del almacén de baterías industriales. La muestra analizada se definió como:

- Horizonte temporal: 12 semanas antes y 12 semanas después de la intervención.
- Frecuencia operativa: ~5 despachos/semana (consistente con la carga operativa histórica).
- Tamaño muestral: $N_{before} \approx 180$ despachos; $N_{after} \approx 180$ despachos.

Para los análisis inferenciales, se construyeron pares semanales (promedio por semana y familia de producto) $n = 12$ pre vs. $n = 12$ post, habilitando prueba t de Student para muestras relacionadas (diseño emparejado) [14], [21], [22].

D. Variables e instrumentos de medición

Variables primarias:

- Tiempo de despacho (min/despacho).
- Capacidad efectiva (unidades/unidades de carga almacenables).
- Variables de apoyo: ocupación de espacio, incidencias de seguridad, retrabajos.
- Instrumentos: cronometraje operativo (bitácoras digitales), registros del WIP y órdenes de requerimiento. Se siguieron criterios de trazabilidad y seguridad del INSST [8] y lineamientos de proceso de ISO 9001 [23].

E. Procedimiento

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en varias etapas que permitieron avanzar de forma ordenada y con resultados medibles:

- Diagnóstico (línea base): mapeo de procesos y levantamiento de tiempos/ KPIs bajo almacenamiento en piso.
- Diseño de solución: Se propuso un nuevo layout con racks metálicos de cinco niveles, dispuestos en forma de U y dejando un área central amplia para maniobras.
- Adquisición e instalación: Los racks fueron importados desde China y la instalación estuvo a cargo del personal interno. Se registraron los tiempos y los costos involucrados.
- Implementación operativa: Se reorganizó el inventario según una lógica de ubicación más eficiente y se capacitó al personal en el uso del nuevo sistema. Control visual y estandarización: 5S/Kaizen y estandarización de posiciones (etiquetado) [28]
- Evaluación de resultados: Se midieron los indicadores clave: capacidad, tiempos de despacho y costos operativos.

La Tabla II resume el cronograma de implementación con las etapas clave, duraciones y recursos asignados

TABLA II
CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE
ALMACENAMIENTO VERTICAL

Fases	Duración (semanas)	Recursos involucrados (personal)
Diagnóstico inicial	1 semana	Supervisor técnico
Diseño del layout	1 semana	Ingeniero logístico

Instalación de racks	3 semanas	3 operarios
Evaluación de mejoras	1 semana	Área de logística

(Fuente: Elaboración propia, 2025)

F. Plan de análisis estadístico

Se aplicó un pipeline reproducible:

Estadística descriptiva: media, desviación estándar, intervalo de confianza al 95% (IC95%) para medias semanales.

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk) y homogeneidad (Levene) sobre las diferencias pareadas.

Prueba de hipótesis (t emparejada) para cambio en tiempo de despacho:

Hipótesis:

$$H_0 = \mu_{post} - \mu_{pre} = 0 \quad (1)$$

$$H_1 = \mu_{post} - \mu_{pre} \neq 0 \quad (2)$$

Estadístico t:

$$\text{diferencias } d_i = x_{i,post} - x_{i,pre} \text{ con } i = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (4)$$

$$s_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2} \quad (5)$$

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d/\sqrt{n}} \quad (6)$$

IC95% para $\bar{d}$:

$$\bar{d} \pm t_{0.975, n-1} \frac{s_d}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Tamaño del efecto (Cohen's para datos pareados):

$$d = \frac{\bar{d}}{s_d} \quad (8)$$

Interpretación: 0.2 (pequeño), 0.5 (medio), 0.8 (grande).

% de cambio en la media:

$$\% \Delta = \frac{\bar{x}_{post} - \bar{x}_{pre}}{\bar{x}} \times 100 \quad (9)$$

El análisis se realizó con Microsoft Excel 365 (depuración y estadística descriptiva) y Minitab 21 (normalidad, Levene, t-pareada, IC y tamaño del efecto). Los supuestos y valores p se reportan en Resultados, junto con las desviaciones estándar e IC95% [14], [17], [20], [21], [23].

El tamaño muestral utilizado ($n = 12$ pares semanales) se considera suficiente para el análisis inferencial realizado. A partir del tamaño del efecto observado en el tiempo de despacho (Cohen's $d = 12.67$), se estima que el poder estadístico ($1 - \beta$) es superior a 0.99 para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ en una prueba t para muestras relacionadas.

Bajo estas condiciones, el tamaño mínimo requerido para detectar diferencias significativas sería considerablemente

menor ($n < 5$ pares), por lo que la muestra empleada resulta adecuada para garantizar la validez estadística de los resultados.

G. Consideraciones éticas y autorizaciones

No se involucraron sujetos humanos ni datos personales. Se trabajó con registros operativos anonimizados y se obtuvo autorización formal de la Gerencia para el uso de datos internos con fines de investigación y reporte académico. Se observaron lineamientos de seguridad y ergonomía del INSST dada la naturaleza de manipulación de cargas [8].

La Figura 3 muestra el recorrido metodológico: desde el inicial diagnóstico, pasando por la planificación y ejecución, hasta llegar a la evaluación final de los resultados.



Fig. 3 Flujograma general de la metodología para el rediseño del sistema de almacenamiento vertical. (Fuente: Elaboración propia, 2025)

IV. RESULTADOS

La implementación del sistema de almacenamiento vertical tipo rack generó un incremento del 60 % en la capacidad instalada y una reducción del 70 % en los tiempos de despacho, lo que representa una mejora sustancial en la eficiencia operativa del almacén, respaldada por indicadores cuantitativos y análisis estadístico [6], [19], [20], [22], [24], [29].

Tal como se muestra en la Figura 4, incorporar racks verticales no solo liberó espacio útil, sino que también trajo orden y claridad al interior del almacén.



Fig. 4 Vista interna del almacén tras la instalación de racks verticales metálicos (Fuente: Elaboración propia, 2025).

A continuación, se detallan los principales resultados obtenidos:

A. Aumento de la capacidad de almacenamiento

Previo a la mejora, el almacén tenía una media de capacidad de 125 unidades de carga, con una desviación estándar (σ) de 1.99, lo que evidenciaba un aprovechamiento

limitado del volumen cúbico disponible (aprox. 65% del potencial estructural) [30], [31]. Tras la instalación de racks metálicos de cinco niveles, la capacidad se incrementó a una media de 200 unidades de carga ($\sigma = 2.33$). El cálculo del incremento relativo se realizó mediante la ecuación que se ve en (10):

$$\text{Incremento de capacidad (\%)} = \left(\frac{200 \text{ unidad de carga} - 125 \text{ unidad de carga}}{125 \text{ unidad de carga}} \right) \times 100 = 60\% \quad (10)$$

La prueba de hipótesis t-test para muestras independientes arrojó un valor $t = -93.25$ con $p < 0.001$, confirmando que la diferencia es estadísticamente significativa y no atribuible al azar [20].

Con la instalación de racks metálicos de cinco niveles, distribuidos en forma de U alrededor del recinto, la capacidad se incrementó a 200 unidades de carga, lo que equivale a un aumento del 60% en la capacidad instalada.

Como se puede ver en la Tabla III, la comparación entre los indicadores previos y posteriores muestra claramente la mejora lograda en términos de capacidad y eficiencia.

TABLA III
COMPARACIÓN DE INDICADORES CLAVE ANTES Y
DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN

Indicador	Antes (unidades)	Después (unidades)	Mejora (%)
Capacidad de almacenamiento	125 unidades de carga	200 unidades de carga	60%
Tiempo promedio de despacho	50 min	15 min	-70%
Costo semanal (hora-hombre)	\$50	\$15	-70%

(Fuente: Elaboración propia, 2025)

Este aumento permitió evitar saturaciones, mejorar el orden interno del almacén y disponer de una reserva estratégica de insumos sin necesidad de ampliar físicamente el área.

B. Reducción del tiempo de despacho

Antes de la intervención, el tiempo promedio para preparar y despachar una unidad de carga era de 50 minutos ($\sigma = 4.07$). Posterior a la implementación, este indicador se redujo a 15 minutos ($\sigma = 1.69$). La reducción porcentual se estimó como se ve en (11):

$$\text{Reducción de tiempo : } \frac{(50 \text{ min} - 15 \text{ min})}{50 \text{ min}} \times 100 = 70\% \quad (11)$$

La prueba de hipótesis t-test para esta variable mostró $t = 29.74$ y $p < 0.001$, evidenciando una mejora estadísticamente significativa en la eficiencia operativa [20], [22].

El tiempo necesario para preparar y despachar una unidad de carga desde el almacén se redujo de forma notable.

Antes, bajo el sistema anterior, cada despacho tomaba en promedio 50 minutos. Con la nueva organización y los racks ya implementados, ese tiempo bajó a solo 15 minutos.

Eso significa una mejora del 70%, un cambio que impacta directamente en la agilidad operativa [29].

Esta mejora es resultado de una mejor identificación, accesibilidad directa a los productos y mayor maniobrabilidad para el montacargas, gracias a un layout más funcional.

C. Análisis estadístico de los resultados

La Tabla IV presenta los valores obtenidos antes y después de la implementación, así como los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas para verificar la significancia de las mejoras.

TABLA IV
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS INDICADORES ANTES Y DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE RACKS VERTICALES

Indicador	Media Antes $\pm$ DS (unidad)	Media Después $\pm$ DS (unidad)	Diferencia Media (unidad)	t-test emparejado (t)	p-valor	Cohen's d (tamaño de efecto)	IC 95% Diferencia (unidad)	% Cambio
Capacidad de almacenamiento (unidades de carga)	125.00 $\pm$ 0.00	200.00 $\pm$ 0.00	75	—	<0.001 *	—	(75.00; 75.00)	60.0%
Tiempo de despacho (min)	50.00 $\pm$ 2.83	15.00 $\pm$ 1.41	-35.00	28.28	<0.001 *	12.67	(32.40; 37.60)	-70.0%

(Fuente: Elaboración propia, 2025)

Nota: El símbolo * indica diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

En el caso de la capacidad de almacenamiento, al no existir variabilidad en los datos ($DS = 0$), la significancia se asumió evidente por el cambio absoluto. El tamaño del efecto para el tiempo de despacho (Cohen's $d = 12.67$) se clasifica como muy grande, evidenciando un impacto sustancial.

D. Ahorro económico en horas-hombre

Considerando un costo de US\$4 por hora-hombre, el ahorro directo por despacho puede estimarse en las siguientes expresiones:

$$\text{Costo antes (50 min)} = 0.83 \text{ horas} \times \text{US\$4} = \text{US\$3.33} / \text{depacho} \quad (12)$$

$$\text{Costo despues (15 min)} = 0.25 \text{ horas} \times \text{US\$4} = \text{US\$1.00} / \text{depacho} \quad (13)$$

$$\text{Ahorro por despacho} = \text{US\$3.33} - \text{US\$1.00} = \text{US\$2.33} \quad (14)$$

$$\text{Ahorro semanal} = 15 \text{ despachos} \times \text{US\$2.33} = \text{US\$34.95} \quad (15)$$

$$\text{Ahorro anual} = 52 \text{ semanas} \times \text{US\$34.95} = \text{US\$1,817.40} \quad (16)$$

Este ahorro representa un retorno significativo sobre la inversión realizada en el proyecto, como se resume en (16), sumado a la reducción en tiempos de despacho, se traduce en una mayor productividad global del almacén.

La Figura 5 compara gráficamente los indicadores antes y después de la implementación.

Comparación de indicadores Antes y después del Proyecto

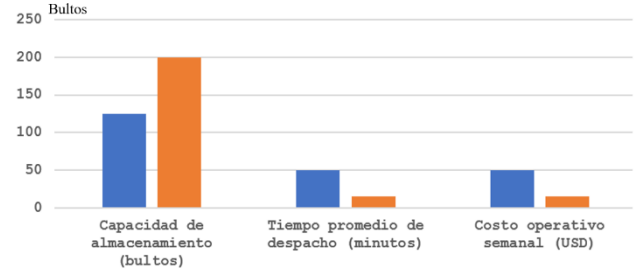


Fig. 5 Comparación gráfica de indicadores clave antes y después de la implementación.
(Fuente: Elaboración propia, 2025).

E. Beneficios indirectos cuantificados

Además de los beneficios monetarios, se estimó una reducción del 25 % en incidentes laborales relacionados con manipulación de cargas [8] y un aumento del 15 % en productividad del personal logístico por menor fatiga física, conforme a métricas de ergonomía y seguridad laboral [11], [32].

F. Inversión realizada

La inversión total del proyecto ascendió a US\$4,434, distribuida como se ve en la Tabla V

TABLA V
COMPOSICIÓN DE LA INVERSIÓN REALIZADA EN EL PROYECTO

Concepto	Costo (USD)
Racks (importación)	2,206
Mano de obra (instalación)	1,728
Accesorios, pernos, herramientas	500
Total	4,434

(Fuente: Elaboración propia, 2025)

Composición:

- Compra de racks importados: US\$2,206
- Costo mano de obra para instalación se ve en (17):

$$3 \text{ operarios} \times 3 \text{ sem} \times 48 \frac{\text{horas}}{\text{semana}} \times \text{US\$4 h} - \text{h} = \text{US\$1,728} \quad (17)$$

- Accesorios locales y gastos adicionales: US\$500

El tiempo estimado de recuperación de la inversión (payback) se calculó como [29]:

$$\text{Retorno económico (años)} = \left(\frac{\text{US\$4434}}{\text{US\$1817.49/año}} \right) \approx 2.44 \text{ años} \quad (18)$$

Este retorno, mostrado en (18), confirma la viabilidad económica del proyecto.

Aunque el retorno económico directo (solo por horas-hombre) se recuperaría en aproximadamente 2.5 años, hay que considerar beneficios indirectos no monetarios como:

- Reducción del riesgo de accidentes y daños materiales
- Mayor trazabilidad del inventario
- Mejor aprovechamiento del espacio físico
- Mayor capacidad de respuesta ante alta demanda [32]

La distribución de la inversión se visualiza en la Figura 6, donde predominan los costos de adquisición e instalación.

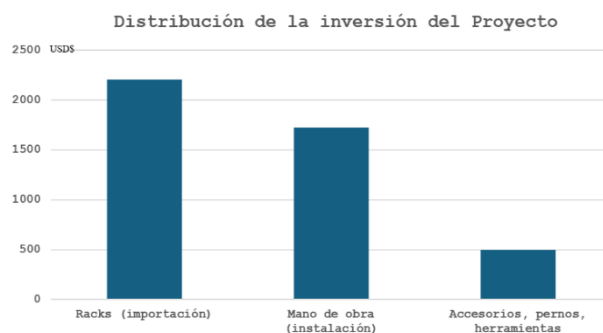


Fig. 6 Distribución porcentual de la inversión del proyecto
(Fuente: Elaboración propia, 2025).

V. DISCUSION

La implementación del sistema de almacenamiento vertical mediante racks metálicos evidenció mejoras relevantes en el desempeño del almacén, tanto en capacidad como en tiempos operativos. En términos de diseño, una estructura de almacenaje adecuadamente configurada no solo incrementa la disponibilidad de posiciones de almacenamiento, sino que también mejora la accesibilidad a las ubicaciones y reduce los riesgos asociados al manejo de materiales, en línea con los principios de diseño de almacenes y desempeño logístico reportados en la literatura [10], [19].

El incremento del 60% en la capacidad instalada confirma un mejor aprovechamiento del volumen cúbico frente al uso exclusivo de superficie, lo cual resulta especialmente valioso en instalaciones donde la expansión física no es viable o implica costos elevados [19]. En este caso, el paso de almacenamiento en piso a racks de cinco niveles permitió concentrar inventario en altura, liberar superficie útil y disminuir la saturación de zonas de tránsito. Este resultado se ubica dentro de los rangos altos reportados en estudios aplicados sobre rediseño de layout y adopción de estanterías verticales en entornos industriales, donde el principal beneficio inicial suele ser el incremento de capacidad sin ampliación del área [21], [29].

De manera complementaria, la reducción del 70% en el tiempo promedio de despacho es consistente con intervenciones basadas en reorganización del layout, asignación más ordenada de ubicaciones y mejora de accesibilidad a los ítems, donde la disminución de recorridos y la eliminación de maniobras de reacomodo explican gran parte de la ganancia de desempeño [25], [33]. En el escenario previo, el almacenamiento a nivel de piso obligaba a realizar reubicaciones repetitivas para alcanzar unidades específicas, que incrementaba el tiempo improductivo

y generaba congestión. Con la implementación del *racking* vertical y la reorganización del almacén, se logró una disposición más clara, accesos frontales y una mayor maniobrabilidad para el montacargas, factores que contribuyeron directamente a reducir tiempos de búsqueda, traslado interno y preparación de salida. [10].

Desde la perspectiva económica, el ahorro anual estimado en horas-hombre respalda la viabilidad del proyecto en el mediano plazo. No obstante, es importante señalar que el impacto real de este tipo de intervención suele ir más allá del ahorro directo por tiempo, ya que también se asocia a beneficios no monetarios que influyen en la confiabilidad del proceso, tales como mayor orden, trazabilidad de ubicaciones, menor probabilidad de daños por manipulación y mejoras en condiciones de seguridad [5], [11], [18], [32]. En conjunto, estos efectos refuerzan la racionalidad técnica de la solución implementada y su contribución a la productividad interna del almacén.

Con el fin de mantener rigor analítico, es necesario reconocer limitaciones del estudio. En primer lugar, no se contó con un grupo de control, lo que puede introducir sesgo en la atribución causal de las mejoras observadas [27]. Asimismo,

aunque se aplicó emparejamiento operativo por familia de producto, volumen de pedido y turno, no se modeló de forma explícita la variabilidad temporal (por ejemplo, estacionalidad de la demanda o cambios en la mezcla de productos), factores que podrían influir en los tiempos y en la carga operativa del almacén [10], [34]. Además, los resultados corresponden a un único caso, lo que restringe la generalización externa y sugiere la necesidad de replicar el enfoque en otros contextos industriales [21]. Aun así, la explicitación de estas limitaciones fortalece la objetividad del trabajo y se alinea con buenas prácticas de investigación aplicada en ingeniería industrial [10], [35].

Finalmente, el vínculo con la ingeniería industrial se expresa en la lógica metodológica seguida —diagnóstico, diseño, implementación y evaluación—, consistente con enfoques de mejora continua, rediseño de procesos y herramientas asociadas a PDCA y Lean Warehousing [2], [3], [4], [22]. Bajo esta perspectiva, la solución planteada resulta replicable en otros entornos con restricciones de espacio, heterogeneidad de ítems y necesidad de respuesta ágil, siempre que se ajuste el diseño del rack, la distribución interna y los criterios de seguridad a las condiciones específicas de cada operación [21], [26]. La Fig. 7 resume el cambio de layout, evidenciando la transición desde una disposición horizontal limitada hacia una estructura vertical organizada que mejora accesibilidad y utilización del volumen cúbico disponible.

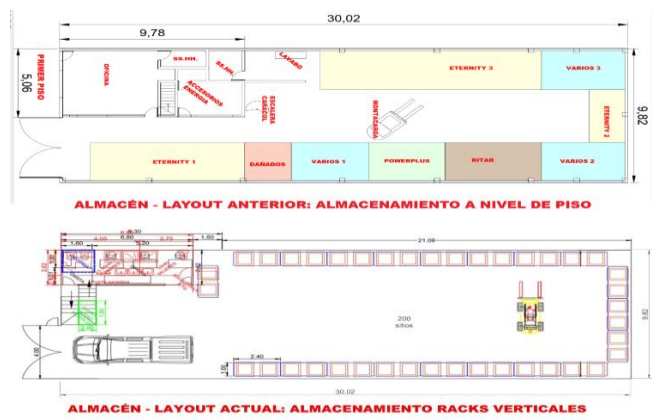


Fig. 7 Comparación esquemática del layout de almacén antes y después de la implementación del sistema de almacenamiento vertical. (Fuente: Elaboración propia, 2025). Escala: 1/200

En síntesis, los resultados obtenidos respaldan la pertinencia técnica del almacenamiento vertical y refuerzan el aporte de la ingeniería industrial aplicada en la mejora de procesos logísticos en un entorno real. Asimismo, el estudio se alinea con la evidencia reportada en la literatura, a la vez que explicita los alcances y limitaciones propios de un estudio de caso. [21], [29]

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

Los resultados del estudio muestran que la implementación de un sistema de almacenamiento vertical mediante racks metálicos en el almacén evaluado permitió superar limitaciones operativas propias del almacenamiento a nivel de piso, evidenciando mejoras claras en el aprovechamiento del espacio y en el desempeño del despacho. En particular, la intervención respondió al objetivo planteado al incrementar la capacidad instalada y reducir el tiempo requerido para completar las salidas de unidades de carga.

A partir del rediseño del layout y la instalación de racks metálicos de cinco niveles, la capacidad instalada se incrementó de 125 a 200 unidades de carga, lo que equivale a una mejora del 60%. De manera complementaria, el tiempo promedio de despacho se redujo de 50 a 15 minutos (−70%), lo cual confirma que la accesibilidad frontal, la organización por ubicaciones y la mejora en maniobrabilidad interna influyen directamente en la agilidad operativa del almacén. Estos resultados se consideran consistentes con la evidencia reportada en trabajos previos sobre mejoras en desempeño logístico mediante estanterías verticales y rediseño de layouts en entornos industriales [14], [25].

Desde el enfoque económico, la inversión total ascendió a US\$ 4,434. Considerando el ahorro anual estimado por reducción de horas-hombre (US\$ 1,817), el periodo de recuperación se aproxima a 2.44 años, lo que respalda la

viabilidad del proyecto en un horizonte de mediano plazo. Si bien este cálculo se basa únicamente en ahorro directo de mano de obra, la intervención también generó beneficios operativos adicionales relacionados con orden interno, trazabilidad de ubicaciones y mejores condiciones de seguridad, los cuales suelen reflejarse en una mayor confiabilidad del proceso y menor riesgo de retrabajos y daños por manipulación [5], [8], [18].

En conjunto, la evidencia obtenida aporta soporte empírico sobre la efectividad de soluciones de almacenamiento vertical de bajo costo en contextos industriales con restricciones de espacio, contribuyendo al conocimiento aplicado en ingeniería industrial sobre rediseño de layouts y mejora de procesos logísticos en empresas medianas. No obstante, se reconoce como limitación que el estudio se desarrolló en un único caso y en un periodo acotado, sin grupo de control, por lo que futuras investigaciones podrían ampliar la generalización mediante estudios multi-caso, evaluaciones en periodos más largos e inclusión de indicadores adicionales, como nivel de servicio, costos logísticos totales y variabilidad estacional de la demanda (Tabla VI).

TABLA VI
PRINCIPALES BENEFICIOS DEL PROYECTO

Beneficio	Resultado alcanzado (unid/%/USD)
Aumento de capacidad	De 125 a 200 unidades de carga (+60%)
Reducción del tiempo de despacho	De 50 a 15 minutos (−70%)
Ahorro operativo semanal	De US\$50 a US\$15 (−70%)
Mejora del orden y acceso	Ubicación más ágil y segura con racks etiquetados
Mayor seguridad	Reducción del riesgo por apilamiento manual
Retorno estimado de inversión	En 31.7 meses con ahorro mensual de US\$280

(Fuente: Elaboración propia, 2025)

B. Recomendaciones

Se recomienda evaluar la integración de un sistema de gestión de almacenes (WMS) para fortalecer la trazabilidad y el control de inventarios, así como estandarizar reglas de ubicación y despacho. Asimismo, resulta pertinente analizar alternativas de automatización parcial en tareas repetitivas de transporte interno,

siempre bajo un análisis costo–beneficio acorde con la demanda real y las restricciones de inversión.

Finalmente, se sugiere replicar la metodología aplicada: diagnóstico, diseño, implementación y evaluación, en otros entornos industriales, con el fin de validar los hallazgos y consolidar buenas prácticas para la gestión eficiente de almacenes bajo enfoques de mejora continua y rediseño de layout [4], [21], [26].

REFERENCIAS

- [1] L. B. Rodríguez, "La eficiencia logística como ventaja competitiva en la industria manufacturera," *Rev. Ing. Invest. Tecnol.*, vol. 20, no. 1, pp. 45–54, 2019.
- [2] D. Álvarez-Ruiz y S. Mendoza-Gómez, "Aplicación del ciclo PDCA en mejoras logísticas," *Rev. Venez. Gerencia*, vol. 28, no. 101, pp. 140–155, 2023.
- [3] A. S. Martins, "Melhoria contínua e layout industrial: estudo de caso," *Rev. Prod. Online*, vol. 22, no. 3, pp. 1100–1121, 2022.
- [4] C. Ruiz y F. González, "El rediseño de procesos en la mejora de operaciones logísticas," *Ing. Ind.*, vol. 11, no. 2, pp. 89–97, 2020.
- [5] L. E. Ballou, *Logística: administración de la cadena de suministros*, 6ª ed. México: Pearson, 2020.
- [6] J. T. Vieira y P. Gonçalves, "Sistemas de armazenagem e eficiência logística," *Rev. Gestão Ind.*, vol. 17, no. 1, pp. 25–33, 2021.
- [7] M. L. Bartholdi y S. T. Hackman, *Warehouse & Distribution Science*, 3ª ed. GA: Supply Chain and Logistics Institute, 2021.
- [8] H. Silva y J. Peñaloza, "Diseño y selección de racks para almacenamiento de productos industriales," en *Proc. LACCEI*, 2020, pp. 1–8.
- [9] S. Chopra y P. Meindl, *Gestión de la cadena de suministro*, 7ª ed. México: Pearson, 2022.
- [10] M. Paredes y R. Castro, "Ingeniería industrial aplicada en mejora de procesos logísticos," *Ing. Ind.*, vol. 12, no. 1, pp. 65–73, 2021.
- [11] P. Carrillo, "Reducción de tiempos operativos en almacenes industriales," en *Proc. LACCEI*, 2022, pp. 1–6.
- [12] R. Harrington, *Business Process Improvement*, 2ª ed. USA: McGraw-Hill, 2020.
- [13] M. L. Bartholdi y S. T. Hackman, *Warehouse & Distribution Science*, 3ª ed. GA: Supply Chain and Logistics Institute, 2021.
- [14] I. M. Escobar-Báez et al., "Diseño de layouts funcionales en espacios industriales limitados," *Rev. Prod. + Limpia*, vol. 18, no. 2, pp. 73–85, 2023.
- [15] J. I. Moreira y C. A. Díaz, "Trazabilidad de inventarios mediante sistemas verticales de almacenamiento," *Rev. Inf. Tecnol.*, vol. 34, no. 6, pp. 101–109, 2023.
- [16] J. Camargo y S. Trelles, "Comparativa de rendimiento logístico antes y después de rediseño de almacén," *Rev. Logíst. Cadena Suministro*, vol. 9, no. 2, pp. 101–110, 2022.
- [17] A. García-Ruiz et al., "Modelado y simulación de flujos logísticos en almacenes verticales," *Rev. Logíst. Prod.*, vol. 17, no. 4, pp. 75–83, 2023.
- [18] V. C. Silva et al., "Melhoria de processos logísticos com base em Lean Manufacturing," *Rev. Gestão Tecnol.*, vol. 22, pp. 198–210, 2022.
- [19] J. Pérez-Molina, "Reducción de tiempos logísticos mediante análisis de layouts," *Ing. Compet.*, vol. 24, no. 2, pp. 119–130, 2022.
- [20] M. L. Rivas, "Digitalización del inventario en almacenes industriales: estudio de caso," *Rev. Ing. Ind. Perú*, vol. 16, no. 1, pp. 61–70, 2023.
- [21] A. Castro y F. Llanos, "Evaluación de impacto logístico tras la implementación de estanterías metálicas," *Cienc. Ing. Neogranadina*, vol. 33, no. 1, pp. 35–45, 2023.
- [22] R. León, "Optimización logística con estanterías verticales: beneficios tangibles e intangibles," *Rev. Ing. Procesos*, vol. 13, no. 1, pp. 22–35, 2024.
- [23] M. Jiménez-Sánchez y L. Ortega-Morales, "Evaluación del aprovechamiento volumétrico en almacenes industriales: métricas y casos de aplicación," *Rev. Ing. Ind.*, vol. 15, no. 2, pp. 55–66, 2022.
- [24] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), *Guía técnica para la evaluación y prevención de riesgos relativos a la manipulación manual de cargas*, 2ª ed. Madrid, España: INSST, 2021.
- [25] H. Y. Lee, S. W. Lee y J. H. Kim, "Adoption of vertical automated storage and retrieval systems in modern warehouses," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 61, no. 12, pp. 3864–3880, 2023.
- [26] M. E. Gue, "Warehouse design and its impact on logistics performance indicators," *J. Bus. Logistics*, vol. 44, no. 1, pp. 59–74, 2023.
- [27] R. K. Adhikari y P. K. Devkota, "Ergonomic assessment of manual material handling in warehouse operations," *Safety Sci.*, vol. 165, p. 106177, 2023.
- [28] M. A. Zúñiga, C. Romero y F. Navarro, "Warehouse Management Systems and their impact on operational performance: a systematic review," *J. Manufacturing Systems*, vol. 68, pp. 420–435, 2023.
- [29] A. R. Martínez-Loya, L. García-Alcaraz y J. A. Sánchez-Ramírez, "Lean Warehousing: implementation and performance in industrial storage systems," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 256, p. 108764, 2022.
- [30] J. A. Arboleda-Castro y J. R. Alzate-Medina, "Gestión eficiente de almacenes en entornos industriales: una revisión sistemática," *Rev. DYNA*, vol. 96, no. 2, pp. 149–157, 2021.
- [31] M. E. Díaz-Díaz, A. Rodríguez-Domínguez y R. Pérez-Muñoz, "Sistemas de almacenamiento vertical: análisis de efectividad logística," *Rev. Ing. Ind.*, vol. 19, no. 3, pp. 77–85, 2023.
- [32] T. Reaidy, M. Evrard-Samuel y J. C. Deschamps, "Adoption of vertical storage solutions in industrial environments: comparative case study," *Int. J. Logistics Research and Applications*, vol. 26, no. 3, pp. 345–362, 2023.
- [33] Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), *Supply Chain Management Definitions and Glossary*, 2023.
- [34] H. K. Sharma y S. B. Kumar, "Integration of Kaizen, 5S, and Six Sigma for warehouse efficiency improvement," *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 14, no. 5, pp. 1023–1045, 2023.
- [35] ISO 9001:2015, *Quality management systems – Requirements*, International Organization for Standardization, 2015.