

IMPROVEMENT MODEL TO REDUCE INTERNAL LEAD TIME TROUGH SLP, SLOTTING AND MRP IN A METALWORKING PLANT

Kiara Alelí Peña Castañeda ; Joel Boris Oscco Villar ; Ezilda Cabrera Gil Grados 
Carrera de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, Perú,
20204764@aloe.ulima.edu.pe, 20222988@aloe.ulima.edu.pe, ecabrera@ulima.edu.pe

Abstract– This research was conducted in a micro-enterprise (MSME) in the metalworking sector, which, like other similar companies, faces logistical problems in its warehouse management. In this case, the Internal Lead Time (ILT) of the order preparation process was 4.74 hours, impacting the achievement of the internal customer service level and causing delays in the timely supply of materials to the production area. The diagnosis revealed unnecessary travel distances and disorganized storage of supplies as the root cause, associated with a layout that does not favor material flow, as well as frequent stockouts due to poor planning. An improvement model was proposed that integrates Systematic Planning (SLP), Slotting, and Material Requirements Planning (MRP). SLP reduces internal travel time, Slotting reduces search time on shelves, and MRP reduces stockouts. The Arena simulation, modeled with data from a pilot project, validates that the ILT was reduced by 18.6%, thus validating the effectiveness of the proposed model.

Keywords: Internal Lead Time, SLP, Slotting, MRP, internal logistics, metalworking

MODELO DE MEJORA PARA REDUCIR EL LEAD TIME INTERNO MEDIANTE SLP, SLOTTING Y MRP EN UNA PLANTA METALMECÁNICA

Kiara Alelí Peña Castañeda ; Joel Boris Oscco Villar ; Ezilda Cabrera Gil Grados 
Carrera de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, Perú,
20204764@aloe.ulima.edu.pe, 20222988@aloe.ulima.edu.pe, ecabrera@ulima.edu.pe

Resumen– Esta investigación se desarrolla en una MYPE del sector metalmeccánico, que al igual que otras empresas similares, enfrenta problemas logísticos en la gestión de su almacén. En este caso, el Lead Time Interno (ILT) del proceso de preparación de pedidos presentaba un valor de 4.74 h impactando en el cumplimiento del nivel de servicio al cliente interno generando demoras en el suministro oportuno de materiales hacia el área de producción. El diagnóstico evidenció como causa raíz los recorridos innecesarios y el desorden de la ubicación de insumos asociados a un layout que no favorece el flujo del material, así como roturas de stock frecuentes por una planificación deficiente. Se planteó un modelo de mejora que integra SLP, Slotting y MRP. El SLP reduce el tiempo de recorrido interno, el Slotting reduce el tiempo de búsqueda en estantería y el MRP reduce la rotura de stock. La simulación en Arena, modelada con datos de un piloto valida que el ILT se redujo en 18.6 %, validando la efectividad del modelo propuesto.

Palabras clave – Lead Time Interno, SLP, Slotting, MRP, logística interna, industria metalmeccánica

I. INTRODUCCIÓN

El sector metalmeccánico desempeña un rol estratégico en la economía peruana al proveer bienes intermedios y componentes esenciales para actividades como la construcción, la minería y la manufactura. Según el Ministerio de la Producción, este sector aporta alrededor del 9.4 % del Valor Agregado Bruto de la manufactura y concentra aproximadamente el 3 % del empleo del sector privado, lo que evidencia su relevancia productiva y social [1]. En este contexto, la eficiencia operativa de las empresas metalmeccánicas resulta clave para sostener su competitividad y continuidad productiva.

La gestión de almacenes constituye un componente relevante dentro de los procesos internos de las empresas industriales que operan con materiales de uso continuo y alta rotación. En la industria metalmeccánica, se observa con frecuencia recorridos extensos, tiempos elevados de búsqueda de insumos y materiales por limitaciones en la organización de los mismos. Estos factores influyen en el desempeño operativo y en los tiempos de atención de pedidos, lo que justifica intervenciones orientadas a mejorar el flujo interno y la gestión de almacenes [1].

En el campo del diseño de instalaciones, investigaciones recientes han demostrado que el método SLP es una de las herramientas más utilizadas para reorganizar almacenes y áreas operativas. Estudios como los de Nugraha y Widjati destacan su eficacia al reducir recorridos internos y eliminar desplazamientos innecesarios [2], mientras que Valdivia et al. evidencian que la distribución física de las instalaciones contribuye a mejorar la capacidad de respuesta y, en consecuencia, impacta en indicadores como el OTIF [3]. En los casos mencionados, la redistribución basada en relaciones entre áreas es clave para eliminar interrupciones en el flujo y facilitar el trabajo del operario. Estos hallazgos coinciden con lo observado en la práctica industrial, donde el diseño físico inadecuado constituye una de las principales fuentes de desperdicio de tiempo.

Por otra parte, para reducir los tiempos de búsqueda y picking, la asignación óptima de ubicaciones según la rotación y las características de los productos se emplea en diversos sectores. En ese sentido, Duque-Jaramillo et al. reducen los tiempos de picking en más del 15 % mejorando la clasificación y ubicación en un almacén [4]; Castillo et al. concluyen que las mejoras en tiempos de picking oscilan entre 15 % y 30 %, dependiendo del tipo de almacén y del comportamiento de la demanda [5].

Finalmente, la planificación del abastecimiento también ha adquirido importancia debido a su impacto directo sobre la continuidad operacional. El diseño e implementación de un modelo de MRP para el cálculo de las necesidades de materiales considerando demanda, inventarios y lead times permitió a Gáti y Bányai reducciones superiores al 20 % en costos de inventario [6], mientras que Segura et al. redujeron los quiebres de stock y las interrupciones de la producción alineando el abastecimiento con el consumo real [7].

En este contexto, el presente estudio tiene como finalidad reducir el Lead Time Interno (ILT) del proceso de preparación de pedidos en un almacén metalmeccánico, a partir del diagnóstico del desempeño operativo actual. El análisis inicial evidenció un ILT superior a los valores de referencia reportados en la literatura. En particular, el Toyota Production System establece que en sistemas productivos eficientes el ILT se mantiene en un rango aproximado de 4 a 6 horas, resultado de un flujo continuo de

materiales, recorridos mínimos y abastecimiento sincronizado bajo el enfoque Just-In-Time [8]. Cuando estos principios no se cumplen, se generan acumulaciones, desplazamientos innecesarios y tiempos de espera que incrementan el ILT. En el caso estudiado, la brecha identificada se asocia principalmente a recorridos extensos, tiempos elevados de búsqueda de insumos y deficiencias en la planificación del abastecimiento. La literatura indica que estas causas pueden ser abordadas mediante la optimización del layout con SLP, la reorganización de ubicaciones mediante Slotting y la planificación de materiales con MRP, lo que respalda la posibilidad de reducir el Lead Time Interno.

II. METODOLOGÍA

La investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y tiene como objetivo mejorar el ILT del almacén mediante la incorporación de técnicas de organización y planificación de materiales. El estudio se desarrolló como un piloto, en el almacén de 398 m² de la empresa objeto de estudio donde se tomó de base las barras de acero como representativas de las materias primas; las placas carburadas representativas de la Familia 1 y los discos “Polifan” como representativos de la Familia 2. La variable dependiente es el ILT y las variables independientes son los tiempos de desplazamiento, tiempos de búsqueda, y la frecuencia de compras.

El modelo de solución para abordar la problemática identificada es el siguiente

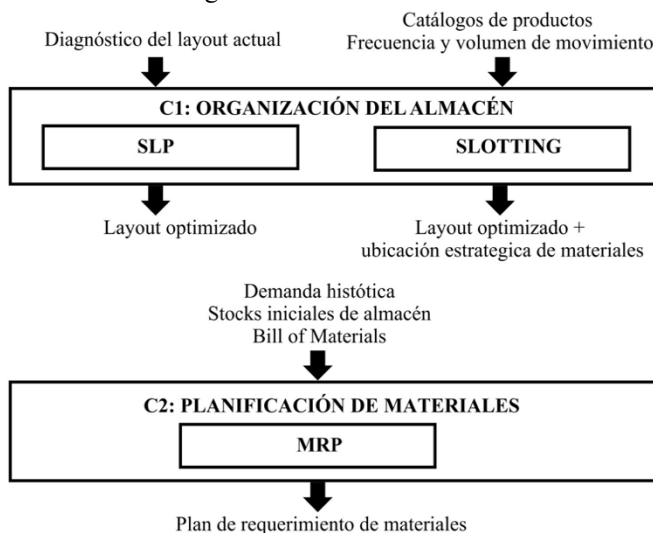


Fig 1. Modelo conceptual de la solución propuesta.

A. Componente C1: Organización del almacén (SLP + Slotting)

Se incluyen las acciones que tienen como objetivo mejorar el flujo interno y la ubicación de los materiales. Para comenzar, se efectuó el análisis del diseño actual de las instalaciones del almacén y se detectaron recorridos repetitivos e improductivos, ello posibilitó establecer las relaciones funcionales entre áreas o zonas del almacén y los aspectos críticos del proceso de la atención de pedidos al almacén.

En la primera parte del componente se utilizó SLP para rediseñar el flujo físico, el área de almacén y el espacio del almacén, y se elaboraron diagramas de recorrido actuales y propuestos.

Para ello, se desarrolló la matriz de relacional de actividades, y se examinaron opciones de redistribución que disminuyeran los cruces, los retrocesos y los desplazamientos innecesarios. Este análisis generó un layout mejorado, en el que las áreas quedaron alineadas con el flujo lógico del proceso, disminuyendo la carga de movimientos del operario.

Posteriormente, se integró la técnica del Slotting, para determinar la ubicación estratégica de los materiales en el layout mejorado. Para su implementación, se empleó información sobre las características físicas, frecuencias de uso, stock y volúmenes de cada SKU. Para identificar insumos de alto impacto, se comenzó con la clasificación ABC, siguiendo la regla 20% - 30% - 50%; después, se registraron las dimensiones y pesos para asignar las categorías identificadas a los niveles dentro de anaqueles con criterio ergonómico y, se definieron áreas de acceso en función de la rotación. La combinación de SLP con Slotting posibilitó la creación de un sistema físico ordenado, con trayectos más breves y una búsqueda de suministros más eficaz para reducir el tiempo de preparación de pedidos.

B. Componente C2: Planificación de materiales (MRP)

Se enfocó en estabilizar el abastecimiento a través del MRP y utilizó la data de la demanda histórica, de los inventarios iniciales y el Bill of Materials. Según la política de la compañía, se evaluaron los requerimientos brutos para los insumos críticos del mecanizado de los productos que se fabrican en la empresa, se identificaron los requerimientos netos, se fijó un lead time promedio de un mes por insumo, además se calculó un stock de seguridad. Asimismo, se establecieron los lotes mínimos de compra (MOQ), lo que hizo posible la elaboración del MRP para reducir roturas de stock.

Este componente fortaleció la dimensión de planificación del modelo, garantizando que los materiales estén disponibles a tiempo y mejorando el flujo físico del Componente 1 del modelo de solución. El resultado combinado representa un modelo de planificación y organización integrado, el cual se implementó a nivel piloto y posteriormente se validó mediante la simulación con el software Arena.

III. RESULTADOS

El análisis se centra en los aspectos que forman parte del objetivo general del trabajo: reducir el Lead Time Interno (ILT), mejorar el flujo del almacén mediante SLP, reorganizar las ubicaciones con Slotting y asegurar la disponibilidad de insumos a través del MRP. Para cada punto se procesaron los indicadores con un mes de operación simulado en Arena, utilizando 43 réplicas para el escenario actual y para el mejorado, obteniendo intervalos de confianza al 95% en Output Analyzer.

3.1 Resultados del SLP

El análisis SLP comparó el esfuerzo total, las distancias recorridas, los movimientos mensuales y el tiempo de recorrido del operario entre el layout actual y dos propuestas.

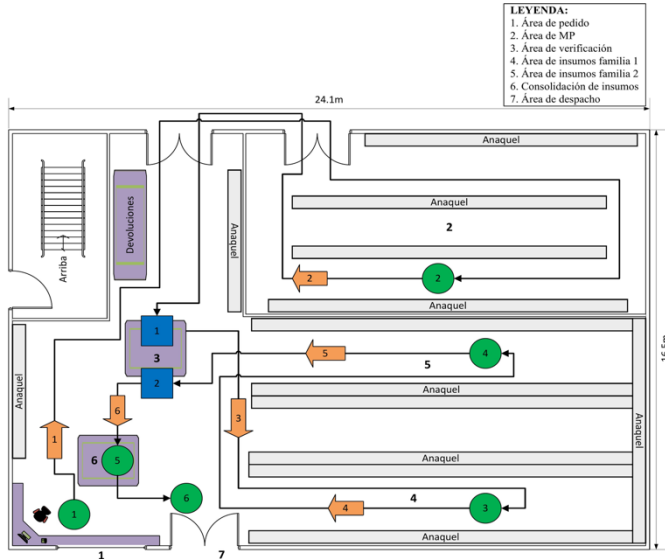


Fig 2. Layout actual

Para el cálculo del esfuerzo, la carga se definió como el número de pedidos por mes, dado que el peso promedio de los pedidos es similar entre los flujos analizados.

TABLA I. MATRIZ DE ESFUERZO (LAYOUT ACTUAL)

Flujo	Carga (ped/mes)	Distancia (m)	Esfuerzo (carga*distancia)
1 → 2	700	15	10 500
2 → 4	700	25	17 500
4 → 5	700	33	23 100
5 → 3	700	37	25 900
3 → 6	700	11	7 700
6 → 7	700	9	6 300
TOTAL	-	-	91 000

El layout actual presenta el mayor nivel de esfuerzo (91 000 unidades). Esto se debe a que mantiene recorridos largos y varias interrupciones en el flujo. El operario debe retroceder, cambiar de pasillo y desplazarse entre áreas poco relacionadas, lo que incrementa la carga de trabajo total.

A partir del análisis del diseño actual utilizando SLP, se formularon dos propuestas de redistribución con el objetivo de optimizar el flujo interno y disminuir el esfuerzo en la manipulación de materiales

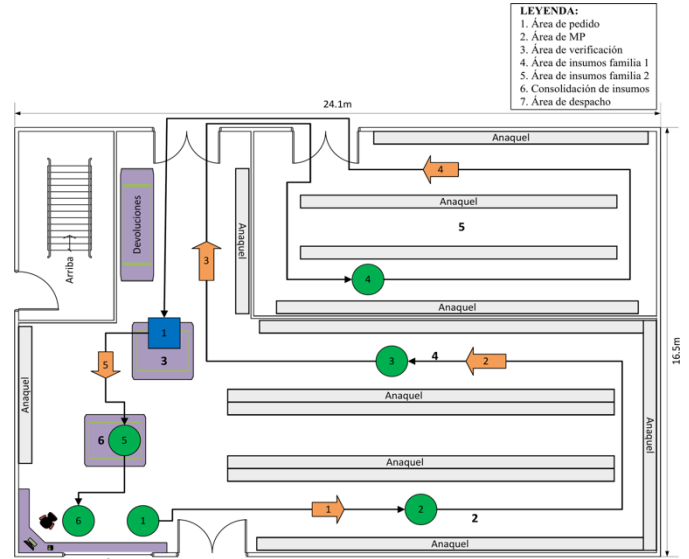


Fig 3. Layout mejorado (propuesta 1)

TABLA II. MATRIZ ESFUERZO (PROPUESTA 1)

Flujo (De → A)	Cargas (pedidos/mes)	Distancia (m)	Esfuerzo (carga*distancia)
1 → 2	700	13	9 100
2 → 4	700	21	14 700
4 → 5	700	29	20 300
5 → 3	700	41	28 700
3 → 6	700	6	4 200
6 → 7	700	8	5 600
TOTAL	—	—	82 600

La propuesta 1 plantea una redistribución del layout basado en el orden entre las áreas funcionales, sin alterar la infraestructura actual. Esta reorganización facilita la disminución de los trayectos internos y el esfuerzo en la manipulación de materiales. (82 6000 unidades)

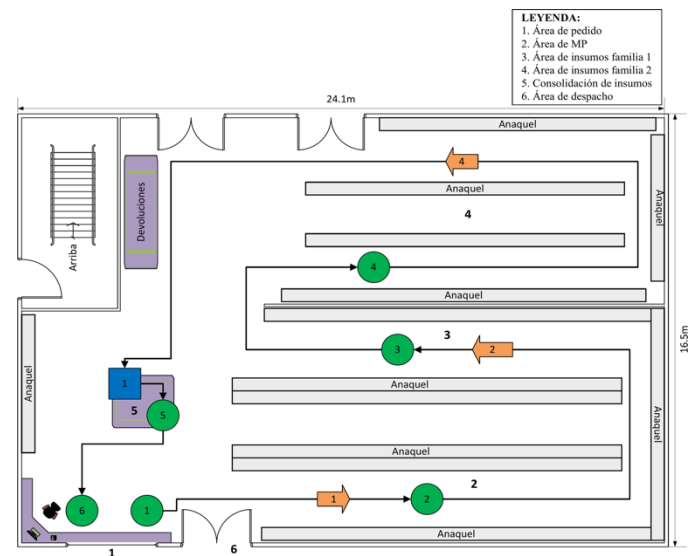


Fig 4. Layout mejorado (propuesta 2)

TABLA III. MATRIZ ESFUERZO (PROPUESTA 2)

Flujo	Carga (ped/mes)	Distancia (m)	Esfuerzo (carga*distancia)
1 → 2	700	11	7 700
2 → 3	700	31	21 700
3 → 4	700	23	16 100
4 → 5	700	29	20 300
5 → 6	700	8	5 600
TOTAL	—	—	71400

La propuesta 2 elimina cruces y retornos innecesarios, permitiendo un recorrido más directo. Esta mejor se logra, entre otros ajustes, mediante la eliminación de una pared que limitaba el flujo entre áreas contiguas, lo que disminuye el esfuerzo total a 71 400 unidades, evidenciando una mejora notable en comparación con el diseño original y la propuesta 1.

TABLA IV. COMPARATIVO GENERAL DE SLP

Métrica	Actual	P2	Mejora (%)
Esfuerzo total (ped/mes)	91 000	71 400	21.60%
Movimientos/mes	4 200	3 500	16.70%
Distancia por movimiento (m)	21.7	20.4	5.99%
Distancia por pedido (m)	130	102	21.60%

La reducción del esfuerzo total y la disminución de movimientos confirman que la Propuesta 2 mejora de manera integral el flujo interno del almacén. El operario recorre menos tramos, realiza menos desplazamientos y completa el recorrido por pedido en menor distancia.

TABLA V. TIEMPO DE RECORRIDO DEL OPERARIO (SLP)

Indicador	Actual	Mejorado	Mejora (%)	IC 95% Actual	IC 95% Mejorado
Tiempo de recorrido (h)	1.2926	0.9805	24.2%%	1.2679-1.3173	0.9639-0.9970

El tiempo de recorrido promedio se reduce en 24.2%, lo que refleja de manera directa la mejora del desplazamiento interno. La disminución del recorrido total del operario es coherente con la reorganización del layout y complementa los indicadores de esfuerzo y distancia.

3.2. Resultado del Slotting

En el caso del Slotting, el análisis se centró en reorganizar el almacén según la rotación real de los insumos. Con la clasificación ABC ya definida, se identificó qué porcentaje de los movimientos pertenece a cada categoría y, con esa información, se distribuyó el espacio disponible de forma proporcional. La idea fue priorizar las zonas donde se trabaja con mayor frecuencia y ubicar en áreas menos críticas los insumos de baja rotación.

En la Tabla VI se presenta la distribución del espacio del almacén en función de la clasificación ABC, donde la categoría C concentra el mayor porcentaje de participación (51.83%), acumulando el 100% del total, y recibe la mayor área asignada (206.3 m²). Le siguen la categoría B con 28.34% y 112.8 m², y la categoría A con 19.83% y 78.9 m².

TABLA VI. DISTRIBUCIÓN ABC Y ÁREA ASIGNADA

Categoría	% Real	% Acumulado	Área asignada (m ²)
A	19.83%	19.83%	78.9
B	28.34%	48.17%	112.8
C	51.83%	100%	206.3
Total	100%	—	398 m ²

Estos resultados muestran que el espacio asignado guarda relación con la participación de cada categoría en los movimientos, lo que permite una distribución más ordenada del almacén. De esta manera, se logra que el uso del espacio responda mejor a la dinámica real de los insumos y se facilite la gestión interna del almacenamiento.

TABLA VII. RESULTADOS DEL SLOTTING

Indicador	Actual	Mejorado	Mejora (%)	IC 95% Actual	IC 95% Mejorado
Tiempo de selección (h)	2.7050	1.8065	33.2%	2.6507-2.7593	1.7811-1.8319

El tiempo necesario para identificar y recoger un insumo disminuye en 33.2 %. Esto confirma que el Slotting optimiza los accesos y reduce la búsqueda, uno de los problemas clave identificados en el diagnóstico.

3.3. Resultados del MRP

El MRP permitió evaluar la disponibilidad de insumos bajo la nueva estructura, analizando las roturas de stock de cada familia

TABLA VIII. MATERIA PRIMA

Indicador	Actual	Mejorado	Mejora (%)	IC 95% Actual	IC 95% Mejorado
Eventos/mes	10.07	7.88	21.75%	9.78 – 19.85	7.72 – 8.05

TABLA IX. ROTURA DE STOCK – FAMILIA 1

Indicador	Actual	Mejorado	Mejora (%)	IC 95% Actual	IC 95% Mejorado
Eventos/mes	11.21	7.72	31.13%	10.94 – 22.15	7.58 – 7.86

Indicador	Actual	Mejorado	Mejora (%)	IC 95% Actual	IC 95% Mejorado
Eventos/mes	3.58	3.51	1.96%	3.41 – 6.99	3.33 – 3.69

El diagrama de flujo se divide en tres secciones principales:

- Verifica stock de materia prima:** Comienza con la "Recepción de pedido", seguida de "Tiempo de llegada". Un decisión "Tipo de producto" dirige el flujo a uno de cuatro productos (1, 2, 3 o 4). Cada producto sigue un camino similar: "Revisión de documento" → "Registro de llegada a MP" → "¿MP disponible?". Si no es disponible, se registra el tiempo de espera y se genera un pedido de compra. Si es disponible, se registra el tiempo de recepción y se genera un pedido de compra. El flujo termina en "¿Go To: Label?".
- Verifica stock de insumo familia 1:** Comienza con "Label 1", seguido de "¿Insumo familia 1 disponible?". Si no es disponible, se registra el tiempo de espera y se genera un pedido de compra. Si es disponible, se registra el tiempo de recepción y se genera un pedido de compra. El flujo termina en "¿Go To: Label 2?".
- Verifica stock de insumo familia 2:** Comienza con "¿Insumo familia 2 disponible?". Si no es disponible, se registra el tiempo de espera y se genera un pedido de compra. Si es disponible, se registra el tiempo de recepción y se genera un pedido de compra. El flujo termina en "¿Go To: Label 2?".

```

graph LR
    Label2[Label 2] --> Espera[Espera previa a selección]
    Espera --> BuscarMP[Buscar MP]
    BuscarMP -- Original --> SelecciónMP[Selección de MP]
    BuscarMP -- Retiro MP --> BuscarF1[Buscar F1]
    BuscarMP -- Not Found --> BuscarF1
    BuscarF1 -- Original --> SelecciónF1[Selección de insumos F1]
    BuscarF1 -- Retiro F1 --> BuscarF2[Buscar F2]
    BuscarF1 -- Not Found --> BuscarF2
    BuscarF2 -- Original --> SelecciónF2[Selección de insumos F2]
    BuscarF2 -- Retiro F2 --> RegistroTiempo[Registro tiempo de selección]
    BuscarF2 -- Not Found --> RegistroTiempo
    SelecciónMP --> MP[MP seleccionada]
    SelecciónF1 --> F1[F1 seleccionada]
    SelecciónF2 --> F2[F2 seleccionada]
    RegistroTiempo --> RegistroTiempoRecorrido[Registro tiempo de recorrido]
    RegistroTiempoRecorrido --> Consolidación[Consolidación de insumos]
    Consolidación --> RegistroILT[Registro ILT]
    RegistroILT --> CierreILT[Cierre ILT]
    CierreILT --> SalidaFinal[Salida Final]
  
```

El diagrama de flujo ilustra el proceso de gestión de pedidos de emergencia (Back Orders) para tres tipos de productos: MP, F1 y F2. El proceso comienza con la compra de cada producto, seguida de una decisión de si se debe comprar más. Si la respuesta es 'Sí', se realiza el abastecimiento y se registra el pedido. Si la respuesta es 'No', se cierra el pedido. Si el pedido no se puede atender inmediatamente, se convierte en un pedido pendiente (Back Order) y se espera a que se pueda atender.

```

graph LR
    subgraph MP [MP]
        C1[Compra MP] --> D1{¿Comprar MP?}
        D1 -- Sí --> A1[Abastecimiento MP]
        A1 --> C2[Compra de MP]
        C2 --> R1[Registro abastecimiento MP]
        R1 --> P1[Pendiente MP]
        P1 --> E1[Espera por compra de MP]
        E1 --> D1
        D1 -- No --> S1[Salida sin compra MP]
        S1 --> C3[Cierre de compra MP]
        C3 --> R2[Registro abastecimiento MP]
    end

    subgraph F1 [F1]
        C4[Compra F1] --> D4{¿Comprar F1?}
        D4 -- Sí --> A4[Abastecimiento F1]
        A4 --> C5[Compra de insumos F1]
        C5 --> R4[Registro abastecimiento F1]
        R4 --> P4[Pendiente F1]
        P4 --> E4[Espera por compra F1]
        E4 --> D4
        D4 -- No --> S4[Salida sin compra F1]
        S4 --> C6[Cierre de compra F1]
        C6 --> R5[Registro abastecimiento F1]
    end

    subgraph F2 [F2]
        C7[Compra F2] --> D7{¿Comprar F2?}
        D7 -- Sí --> A7[Abastecimiento F2]
        A7 --> C8[Compra de insumos F2]
        C8 --> R7[Registro abastecimiento F2]
        R7 --> P7[Pendiente F2]
        P7 --> E7[Espera por compra F2]
        E7 --> D7
        D7 -- No --> S7[Salida sin compra F2]
        S7 --> C9[Cierre de compra F2]
        C9 --> R8[Registro abastecimiento F2]
    end
  
```

La simulación inicia con la recepción del pedido en almacén (CREATE) y la identificación del tipo de producto para el que se solicita materia prima e insumos de las familias F1 y F2. Son 4 tipos de producto con requerimientos propios de materia prima e insumos que se definen en el módulo DECIDE y los 4 módulos ASSIGN. La lógica siguiente se repite para la materia prima y los insumos de ambas familias:

queda pendiente en el HOLD “Espera por compra” hasta que se reponga el stock.

3.4. Resultados del ILT

Indicador	Actual	Mejorado	Mejora (%)	IC 95% Actual	IC 95% Mejorado
ILT promedio (h)	5.3	3.98	24.90%	5.22 -5.37	3.92 – 4.03

En conjunto, los resultados observados en la Tabla XI. evidencia que la reducción del Lead Time Interno es el resultado del efecto integrado de las tres herramientas aplicadas. El SLP reduce los tiempos de desplazamiento, el Slotting minimiza la búsqueda de insumos y el MRP disminuye las interrupciones por roturas de stock. La incorporación conjunta de estas mejoras en el modelo de simulación en Arena permite reducir el ILT promedio de 5.30 h a 3.98 h, equivalente a una mejora de 24.9 %, con diferencia estadísticamente significativa, validando así la efectividad del modelo propuesto.

TABLA XII. VALIDACIÓN INTEGRADA DEL IMPACTO DEL SLP, SLOTTING Y MRP SOBRE EL ILT

Herramienta	Causa raíz abordada	Indicador	Mejora	Contribución al ILT
SLP	Recorridos innecesarios	Tiempo de recorrido	↓ 24.2 %	Menor tiempo de desplazamiento
Slotting	Búsqueda prolongada	Tiempo de selección	↓ 32.2 %	Menor tiempo improductivo
MRP	Roturas de stock	Eventos de rotura	↓ 31.2 % ↓ 21.8%	Menores esperas
Modelo integrado	Impacto acumulado	ILT promedio	↓ 24.9 %	Mejora global

IV. DISCUSIÓN

Al contrastar los resultados con lo expuesto por Nugraha y Widjajati, se observa una tendencia similar respecto a la eliminación de recorridos innecesarios y la mejora del flujo interno. No obstante, la magnitud del impacto logrado en el presente estudio resulta más consistente, ya que la reorganización del layout redujo el esfuerzo total y la distancia recorrida por pedido en 21.6 %, además de una disminución del

24.2 % en el tiempo de desplazamiento del operario. Esta combinación de mejoras revela un efecto más uniforme sobre la operación diaria, en comparación con lo reportado por los autores, cuyos avances se centraron principalmente en la optimización de ciertos tramos del almacén [2].

Valdivia et al. muestran que intervenir el diseño del almacén mediante SLP y prácticas complementarias permite mejorar el OTIF de manera significativa [3]. Aunque en el presente estudio no se evaluó dicho indicador, sí se analizaron variables directamente relacionadas con el rendimiento operativo: el recorrido por pedido se redujo en más del 20 %, y el tiempo de desplazamiento cayó 24.2 %. Ambos resultados evidencian que la optimización del layout también repercute en la capacidad de respuesta del almacén. La diferencia principal radica en el enfoque: mientras los autores evalúan la mejora desde el cumplimiento del pedido, aquí se observa un efecto directo sobre la eficiencia interna del operario.

Duque-Jaramillo et al. demostraron que la aplicación de modelos de slotting basados en ordenamiento logra reducir los tiempos de picking en más del 15 % [4]. El comportamiento identificado en el presente estudio es incluso más favorable, ya que el tiempo de selección disminuyó 31.7% tras reorganizar los insumos según su rotación. Esta diferencia se explica por la redistribución proporcional del espacio, que permitió acercar los SKU de alta demanda y simplificar la trayectoria del operario. Ambos estudios coinciden en la lógica de intervención; sin embargo, la reducción obtenida aquí se ubica claramente por encima del impacto reportado por los autores.

La revisión sistemática realizada por Castillo et al. señala que el slotting suele generar reducciones de entre 15 % y 30 % en los tiempos de preparación de pedidos [5]. Al comparar dicho rango con los resultados del presente

estudio, se aprecia un desempeño ligeramente superior, ya que el tiempo de selección disminuyó 33.2%. Esto confirma que una asignación de ubicaciones basada estrictamente en la rotación real de los insumos puede producir mejoras mayores al promedio identificado en la literatura. En esencia, los hallazgos coinciden en la dirección del cambio, pero la magnitud del impacto local supera el comportamiento típico reportado en investigaciones previas

Gáti y Bányai muestran que un MRP correctamente parametrizado permite reducir más del 20 % de los costos de inventario, al mejorar la precisión del plan de abastecimiento [6]. Aunque en el presente estudio se evaluaron roturas de stock en lugar de costos, ambos indicadores reflejan el mismo fenómeno: estabilidad en el suministro. La reducción de roturas alcanzó 31.2 % en la familia 1 y cerca de 22% en materia prima, valores que guardan coherencia con los beneficios operativos identificados por los autores. En ambos casos, la lógica se mantiene: un plan más alineado con la demanda reduce interrupciones y favorece la continuidad del proceso.

Segura et al. evidencian que la implementación de MRP II mejora la disponibilidad de materiales y disminuye los retrasos asociados a quiebres [7]. Los resultados del presente estudio muestran un comportamiento similar en dos de las tres familias evaluadas: las roturas disminuyeron 31.2 % en la familia 1 y 21.8 % en materia prima. No obstante, la familia 2 no presentó una mejora estadísticamente significativa, lo que refleja una limitación del modelo cuando existe mayor variabilidad en el consumo. Esta diferencia aporta un matiz relevante para la discusión: aunque el MRP corrige patrones de abastecimiento en la mayoría de los casos, su impacto depende de la estabilidad de la demanda asociada a cada grupo de insumos.

V. CONCLUSIONES

Los resultados del estudio permiten concluir que la integración de SLP, Slotting y MRP constituye una estrategia efectiva para mejorar desempeño del almacén de la empresa metalmecánica analizada. La reducción del Lead Time Interno en 24.9% muestra que intervenir simultáneamente el flujo interno, la organización de insumos y la planificación del abastecimiento genera un efecto directo sobre la rapidez con la que se atienden los pedidos de la planta de producción.

En el caso del SLP, la redistribución del layout permitió disminuir el esfuerzo total en 21.6% y reducir el tiempo de recorrido del operario en 24.2% eliminando desplazamientos innecesarios y facilitando el flujo interno.

La implementación del Slotting también generó un impacto significativo. El tiempo de selección se redujo en 31.7% tras reasignar los insumos según su rotación real.

Respecto al MRP, el modelo estabilizó la disponibilidad de materiales. Las roturas de stock se redujeron 31.2% por ciento en la familia 1 y cerca de 21.8% en la materia prima.

Los resultados confirman que es posible mejorar de manera significativa la eficiencia del almacén sin recurrir a inversiones complejas y que existe un amplio margen para seguir desarrollando soluciones integradas en este campo.

El modelo propuesto puede replicarse en otras MYPE metalmecánicas de la región que presenten recorridos innecesarios, desorden en las estanterías y roturas de stock. Según la literatura revisada, estas problemáticas son recurrentes en el sector. Entonces, la integración de SLP, Slotting y MRP también podría ayudar a otras empresas a mejorar su flujo interno y reducir el ILT.

REFERENCES

- [1] Ministerio de la Producción, Estudio sectorial de la industria metalmecánica en el Perú, Lima, Perú, 2025.
- [2] T. Ohno "Toyota Production System: Just-In-Time (4th ed.)." Productivity Press, 2019.
- [3] N. A. Nugraha and E. P. Widjajati, "Analysis of bottle warehouse facility layout design using the Systematic Layout Planning method (SLP) using software Craft in PT. XYZ," Journal of Physics: Conference Series, vol. 6, no. 3, pp. 1–9, 2024, doi: 10.26877/asset.v6i3.628.
- [4] A. D. Valdivia, G. S. Rentería, and A. Flores, "Implementation of 5S, SLP, standard work, ABC and minimum and maximum system in a warehouse in Metropolitan Lima: Improvement of OTIF orders," in Proc. MSIE 2024, 2024, pp. 1–10.
- [5] J. C. Duque-Jaramillo, J. M. Cogollo-Flórez, C. G. Gómez-Marín, and A. A. Correa-Espinal, "Warehouse management optimization using a sorting-based slotting approach," Journal of Industrial Engineering and Management, vol. 17, no. 1, pp. 133–150, 2024, doi: 10.3926/jiem.5661.
- [6] S. E. Castillo, J. M. Cruz, A. Malpartida, and W. C. Algoner, "Impacto del slotting en la cadena de suministros para la gestión de almacenes: Una revisión sistemática," in Proc. 22nd LACCEI Int. Multi-Conf. Eng., Educ. Technol., 2024, pp. 1–10, doi: 10.18687/LACCEI2024.1.1.1075.
- [7] K. V. Gáti and T. Bányai, "Impact of dynamic lot sizing techniques on costs of material requirement planning," Advanced Logistic Systems – Theory and Practice, vol. 17, no. 1, pp. 71–78, 2023, doi: 10.32971/als.2023.009.
- [8] J. Segura, L. Saldaña, J. Vasquez, E. Villanueva, and L. A. Mantilla, "Modelo de sistema de planificación de materiales para incrementar la productividad de la empresa AldoDiego & Co.," in Proc. 18th LACCEI Int. Multi-Conf. Eng., Educ. Technol., 2020.
- [9] A. Aguilar-Paz, J. Bellido-Yarlque, J. C. Quiroz-Flores, and S. Nallusamy, "A proposed model for inventory management to minimize the rate of raw materials tied up of textile industry with lean engineering tools," SSRG Int. J. Mech. Eng., vol. 10, no. 8, pp. 11–20, 2023.
- [10] M. S. Amoretti-Magallanes, P. A. Carpio-Montesinos, and J. A. Corzo-Chavez, "Production model based on 5S tools, visual control and SLP to reduce waste in a company in the poultry sector," in Proc. 10th World Congr. Mech., Chem., Mater. Eng., 2024.
- [11] D. Bogataj, D. Battini, M. Calzavara, and A. Persona, "The response latency in global production and logistics: A trade-off between robotization and globalization of a chain," Procedia Manufacturing, vol. 39, pp. 1428–1437, 2019.
- [12] A. J. Christifan and L. Gozali, "Application of MRP system for control of raw material inventory with EOQ lot sizing," IOP Conf. Series: Mater. Sci. Eng., vol. 1007, no. 1, 012029, 2020.
- [13] M. F. Collao-Díaz, M. V. Saavedra-Cielo, W. D. Calderón, and D. Reiner, "Optimizing fill rate and inventory control in Peruvian bakery SMEs through 5S and MRP integration," SSRG Int. J. Mech. Eng., vol. 11, no. 11, pp. 24–33, 2024.
- [14] V. Contreras, M. Cortavarría, C. León, J. C. Álvarez, and R. Lepore, "Cloverleaf model for efficiency improvement through the application of lean tools in metalworking SMEs," in Proc. 22nd LACCEI Int. Multi-Conf. Eng., Educ. Technol., 2024.
- [15] A. L. Da Silva, I. Pergher, C. V. De Azevedo, and J. B. Sacomano, "A cyber-physical approach for production and logistics integration in Industry 4.0 context," Gestão & Produção, vol. 27, no. 4, e5523, 2020.
- [16] R. Domingo, R. Álvarez, and R. Calvo, "Materials flow improvement in a lean assembly line: A case study," Assembly Automation, vol. 27, no. 2, pp. 141–157, 2007.
- [17] J. C. Duque Jaramillo, M. Cuellar Molina, and J. M. Cogollo Flórez, "Slotting and picking: A review of methodologies and trends," Ingeniare, Rev. Chilena de Ingeniería, vol. 28, no. 3, pp. 514–527, 2020.
- [18] Y. El Khayyam, B. Herrou, and L. Rosocha, "Integrated production and logistics planning," Int. J. Online Biomed. Eng., vol. 14, no. 12, pp. 84–93, 2018.
- [19] M. Fabri and H. Ramalhinho, "Assessing the in-house logistics flows in the automotive industry," Computers & Industrial Engineering, vol. 187, 109822, 2024.
- [20] D. Herwanto, A. Suzianti, and K. Komarudin, "Workplace design in Indonesian manufacturing small and medium-sized enterprises: Review and further research," Production Engineering Archives, vol. 30, no. 1, pp. 115–126, 2024.
- [21] T. Y. Kim, S. H. Woo, and S. W. Wallace, "A recipe for an omnichannel warehouse storage system: Improving the storage efficiency by integrating block stacking and racking," Computers & Industrial Engineering, vol. 182, 109320, 2023.
- [22] S. Lavender, C. Sun, Y. Xu, and C. M. Sommerich, "Ergonomic considerations when slotting piece-pick operations in distribution centers," Applied Ergonomics, vol. 97, 103554, 2021.
- [23] Z. Lu, P. Wang, and X. Zhang, "Research on irregular warehouse layout based on optimised genetic algorithm," Promet – Traffic & Transportation, vol. 36, no. 2, pp. 249–260, 2024.
- [24] M. C. Martínez Orencio, L. Martínez Hernández, and K. Solano Montiel, "Administración y mejora del área de almacén en una empresa metalmecánica," UMR Management Review, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, 2022.
- [25] T. Ohno, Toyota Production System: Just-In-Time, 4th ed. New York, NY, USA: Productivity Press, 2019.
- [26] M. Pekárčiková, P. Trebuňa, M. Kliment, and J. Trojan, "Demand driven material requirements planning: Some methodical and practical comments," Management and Production Engineering Review, vol. 10, no. 2, pp. 50–59, 2019.
- [27] M. Pekárčiková, P. Trebuňa, M. Kliment, M. Edl, and L. Rosocha, "Transformation of logistics to digital logistics: Theoretical approach," Acta Logistica, vol. 7, no. 4, pp. 217–223, 2020.
- [28] M. Young, The Technical Writer's Handbook, Mill Valley, CA, USA: University Science, 1989.