

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Optimización de la preparación de pedidos mediante la gestión de operaciones y almacenes en un centro de distribución

Kevin Alexis Donoso Puebla

Ingeniería Industrial

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERÍA INDUSTRIAL

Quito, 18 de diciembre de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Optimización de la preparación de pedidos mediante la gestión de
operaciones y almacenes en un centro de distribución**

Kevin Alexis Donoso Puebla

Nombre del profesor, Título académico

Sonia Valeria Avilés Sacoto, MSc., DSc.

Quito, 18 de diciembre de 2021

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Kevin Alexis Donoso Puebla

Código: 00200300

Cédula de identidad: 1721359162

Lugar y fecha: Quito, 13 de diciembre del 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

En un mercado cada vez más competitivo, el éxito de una empresa depende de los niveles de eficiencia de los procesos implementados, enfatizando aquellas actividades que agreguen valor a la operación. El área de operaciones dentro de una empresa es un elemento esencial para su correcto funcionamiento, por lo que su gestión es fundamental para controlar el uso de los recursos, aumentar su competitividad, reducir costos, motivar al cliente interno y aumentar la satisfacción del cliente final. Esta investigación se centra en la mejora de la gestión de las operaciones, flujos logísticos internos y tiempos de procesos dentro de un centro de distribución ecuatoriano de material de ferretería y construcción. El problema actual que la empresa enfrenta es el tiempo excesivo utilizado en el proceso de recolección de pedidos debido a la falta de estandarización de métodos que ajusten el proceso a las necesidades de los operarios, por lo que el objetivo es establecer métodos que optimicen dicha operación. Para solucionar dicho problema, la distancia media de preparación de pedidos y los flujos logísticos son minimizados mediante una ruta óptima con la aplicación del Problema del Agente Viajero y estableciéndola como estándar para la reubicación de los productos; para ello se prioriza aquellos productos de alta rotación. A partir de técnicas de análisis de datos se identifica el comportamiento de la demanda para proponer un método de salida de venta por empaque en lugar de una venta unitaria, logrando minimizar los tiempos de recolección de productos, y eliminar los desperdicios en el proceso de preparación de pedidos. Los principales resultados obtenidos muestran una reducción significativa en tiempos y distancias en el proceso, agilizando la operación mediante la estandarización y adaptación de los métodos de trabajo para una mejor gestión operativa en el centro de distribución.

Palabras clave: Centro de distribución, Stock Keeping Unit (SKU), Proceso de recolección, Diseño de bodegas, Rotación de producto.

ABSTRACT

In an increasingly competitive market, a company's success depends on the efficiency levels of the implemented processes, highlighting the importance of those activities that add value to the operation chain. A company's operations area is an essential element for its proper success, making its management fundamental to control the use of resources, increase competitiveness, reduce costs, motivate internal customer, and increase final customer satisfaction. This research focuses on the improvement of operation management, internal logistic flows, and process times within an Ecuadorian hardware and construction material distribution center. The company's current problem is the excessive time used in the order picking process due to the lack of methods' standardization that adjust the process to the operators' needs, so the objective is to establish methods that optimize this operation. To solve this problem, the average order picking distance and logistics flows are minimized by identifying an optimal route using the Travel Salesman Problem algorithm and establishing it as a standard for the relocation of products, prioritizing those with high turnover. Using data analysis techniques to identify the demand behavior, it was possible to propose a sale-by-package output method instead of a unit sale to minimize times and eliminate wastes in the order picking process. The main results obtained show a significant reduction in order picking times and distances, streamlining the operation by standardizing and adapting work methods for better operational management in the distribution center.

Keywords: Distribution Center, Stock Keeping Unit (SKU), Picking process, Layout, Product turnover

TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	10
2.	REVISIÓN LITERARIA	12
2.1.	Optimización de ruta de recorrida.....	12
2.2.	Plan de reubicación de productos.....	13
2.3.	Método de recolección de productos	14
3.	METODOLOGÍA.....	15
3.1.	Diagnóstico.....	16
3.2.	Plan de acción.....	17
3.3.	Implementación.....	17
3.4.	Evaluación	17
3.5.	Monitoreo.....	17
4.	CASO DE ESTUDIO.....	18
4.1.	Diagnóstico.....	19
4.1.1.	Descripción del problema.....	19
4.1.2.	Búsqueda de las posibles causas del problema.....	23
4.1.3.	Definir las causas reales del problema	23
4.2.	Plan de acción.....	27
4.3.	Implementación.....	28
4.3.1.	Optimización de la ruta recorrida TSP	28
4.3.2.	Plan de reubicación de productos.....	32
4.3.3.	Viabilidad de recolección por paquetes	36
4.4.	Evaluación y Monitoreo	38
5.	CONCLUSIONES & LIMITACIONES.....	41
6.	REFERENCIAS.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 ANOVA resultados de la prueba de análisis de varianza entre las medias de rendimiento de los operadores	21
Tabla 2 Constantes consideradas para la ecuación 2	25
Tabla 3 Código con su respectiva frecuencia de salida	32
Tabla 4 Primera agrupación K-Means	33
Tabla 5 Clasificación ABC	34
Tabla 6 Porcentaje de impacto en la ruta de recogida, agrupado por viajes a los almacenes	35
Tabla 7 Códigos candidatos a aplicar venta por empaque	36
Tabla 8 Ejemplo de aplicación de la ecuación en las ventas del disco de corte	38
Tabla 9 Mejora esperada según la reasignación ABC	39
Tabla 10 Resultados de la aplicación de la viabilidad por SKU.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Etapas de la metodología aplicada (Rushton, A. et al. 2006).....	16
Figura 2 Frecuencia, en días, de las horas trabajadas por el equipo de recolección. (Realizado por el autor).....	20
Figura 3 Gráfico de intervalos de los KPI vs. operadores (Realizado por el autor)	22
Figura 4 Diagrama de causa y efecto del impacto en el rendimiento del operador (Realizado por el autor)	23
Figura 5 Diseño del centro de distribución (Realizado por el autor).....	26
Figura 6 Estado del producto en el almacén (Realizado por el autor).....	27
Figura 7 Estructura de datos del grafo en código (Realizado por el autor)	29
Figura 8 Funciones implementadas en el código (Realizado por el autor).....	30
Figura 9 Caso 1: Trazado de la ruta del centro de distribución (Realizado por el autor)	30
Figura 10 Caso 2: Trazado de la ruta del centro de distribución (Realizado por el autor)	31
Figura 11 Caso 3: Trazado de la ruta del centro de distribución (Realizado por el autor)	32
Figura 12 Trazado de la ruta del centro de distribución con clasificación según frecuencia de salida (Realizado por el autor)	35

1. INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo existen industrias dedicadas a la distribución de productos terminados, como medicamentos, alimentos, automóviles, entre otros. Las actividades relacionadas con dichas industrias se enfrentan a un aumento de los requisitos en tiempo y demanda por parte de los clientes. Características como un excelente servicio al cliente, productos de calidad, y buenas prácticas en la cadena de valor del cliente, permiten que una empresa se distinga de las demás, considerando que las expectativas de los clientes de hoy son más altas que nunca. El mercado se ha vuelto abruptamente competitivo, donde la optimización de las tareas que añaden o generan valor para el cliente final, ha pasado de ser un objetivo que alcanzar a un requisito a cumplir (Kuo, S. Y., & Lin, P. C. 2020).

Dentro de la industria de distribución de productos terminados, al analizar el área de operaciones, comúnmente en plantas de producción y centros de distribución, es inevitable evaluar la cadena de valor y la eficiencia con que se maneja el trabajo. Esta evaluación se realiza a través de mediciones de desempeño de las operaciones críticas, con el objetivo de promover planes de acción para reducir progresivamente e incluso eliminar las debilidades del proceso, logrando ventajas competitivas a largo plazo dentro del mercado actual (Nudurupati, S. 2017). Según Chen et al. (2017), el objetivo de mejorar el rendimiento de las operaciones internas debe enfatizar los esfuerzos en 3 factores vitales: tiempo, coste y beneficio, dentro del marco de los sistemas de gestión en las normas de almacén. La distribución de productos acabados en determinados sectores económicos, como el farmacéutico, el de la alimentación y las bebidas, el tecnológico o el de la automoción, tienen una gran ventaja en términos de investigación, que les ayuda a destacar con sistemas de gestión de operaciones más limpios, organizados y avanzados. Esto se consigue gracias a la estandarización de los procesos, los controles de calidad, la maquinaria especializada y la asistencia tecnológica utilizada para evitar desperdicios dentro de su proceso de producción (Jana, P. 2021). Sin embargo, la

industria de la ferretería y de la construcción se está quedando atrás, principalmente porque los requisitos del mercado actual no regulan este tipo de industrias con el mismo rigor que las demás. Al no ser esta industria un sector prioritario, se ha descuidado la gestión y la calidad de los procesos internos, generando problemas relacionados con la falta de estandarización, los sobrecostos y la escasa garantía de calidad (Musarat, M. et al. 2020).

En Ecuador, el sector de la construcción es fundamental para la economía del país, representando un porcentaje medio del 12,08% del PIB global de 2015 a 2020 (BCE, 2021). Así, este mercado, además de tener un notable desempeño en el Ecuador, sostiene actualmente 182 512 empleos según datos del Servicio de Rentas Internas (2021). Dentro de este sector de la construcción, este estudio se centró en una empresa ecuatoriana dedicada a la distribución de un amplio catálogo de productos de ferretería y construcción. Durante el último año, el equipo operativo del área de recolección y empaque se ha enfrentado a problemas relacionados con los largos periodos de tiempo asociados al proceso de recolección de pedidos y a los actuales sistemas de gestión dentro del Centro de Distribución. Los principales problemas encontrados son el largo tiempo incurrido, reprocesamiento y el uso ineficiente de los recursos. Para solucionar estos problemas, es necesario analizar nuevas estrategias en ciertos puntos clave, como la optimización de las rutas junto con un plan de reasignación de artículos en el Centro de Distribución, y un método de recolección de productos para minimizar el tiempo y los desperdicios. Este estudio pretende examinar dichas estrategias para promover una mejora en el proceso de recolección y almacenamiento, haciendo que estos métodos sean más eficientes e inteligentes, reduciendo el tiempo, y el coste humano en el que incurre un operario en el momento de la preparación de pedidos.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: La sección 2 detalla la Revisión de la Literatura que discute la información más relevante y existente sobre tres temas principales; una técnica para resolver la ruta óptima utilizando el TSP (Travel Salesman

Problem), el análisis analítico sobre la rotación de productos y los métodos ágiles de recolección de productos. La sección 3 describe la metodología de investigación. La sección 4 muestra el caso de estudio. La discusión y las conclusiones se presentan en las secciones 5 y 6, respectivamente.

2. REVISIÓN LITERARIA

El estudio trata de mejorar la preparación de pedidos en un Centro de Distribución. Para ello, se estudiará la optimización de la ruta recorrida, el plan de reasignación de artículos y un método de recolección de diferentes productos.

2.1. Optimización de ruta de recorrida

En un entorno en el que el trabajo no está automatizado, no cambia y está en constante crecimiento, centrarse en la optimización de las rutas puede facilitar una buena asignación y planificación de los recursos (De, A. 2020). Las operaciones dentro de un centro de distribución suelen tener un alto flujo de movimiento, donde el tráfico de personas y maquinaria genera una circulación constante. Sin una buena gestión operativa, en términos de políticas de ubicación y movilización del personal, la operación se convierte en un caos difícil de controlar (Lototsky, V. et al, 2019). Una ruta óptima recorrida debe agregar valor a la empresa, por lo que debe ir de la mano con el objetivo de toda la operación. En cuanto al control de las operaciones de almacén, es necesario sintonizar el método de almacenamiento con la ruta de recolección del producto, por lo que estos elementos deben trabajar juntos para encontrar la armonía entre ambas partes.

Estos minimizarán las distancias recorridas y optimizarán los movimientos internos, priorizando aquellos con mayor frecuencia de recolección, y así, ubicarlos estratégicamente. Ahora bien, la solución óptima para el problema de recolección de órdenes es generada por el algoritmo del camino más corto si se tratara de una selección de un solo producto (Silva, A. et

al. 2020). Sin embargo, al tratarse de una selección multiproducto, el problema se resuelve mediante la resolución de un caso especial de TSP (Traveling Salesman Problem) (Cook, W. J. 2011).

A lo largo del tiempo, se han aplicado diferentes enfoques en múltiples estudios. Por ejemplo, considerando como caso base un escenario con un único recolector que puede resolverse aplicando únicamente formulaciones matemáticas (Scholz, A. et al. 2016). Sin embargo, cuando se habla de TSP, los más utilizados son los métodos heurísticos (Glock, C. H. et al. 2017) que permiten crear grafos con nodos interconectados, cuya función objetivo será minimizar la distancia recorrida en la recolección de las distintas órdenes. La heurística para el problema del viajante de comercio (TSP) ha avanzado notablemente en los últimos años.

Existen métodos exitosos y consideraciones especiales que se deben tener en cuenta para lograr una buena implementación (Rego, C. et al, 2011). Christophe Theys (2010) utiliza un enfoque heurístico TSP llamado LKH (Lin-Kernighan-Helsgaun) que permite al algoritmo aprender a tomar decisiones por sí mismo en cada paso de búsqueda a través del aprendizaje por refuerzo. Melih y Haldun (2019) afirman que un enfoque heurístico que hace uso de sus propiedades teóricas de grafos es robusto en términos de cambio de los parámetros del problema, por lo que la construcción de la estructura algorítmica facilitará el manejo de condiciones especiales. Este estudio se basará en la construcción de la estructura de datos de un grafo para considerar un análisis exhaustivo de todos los caminos posibles, teniendo en cuenta una estructura de almacén multibloque no convencional.

2.2. Plan de reubicación de productos

La asignación de espacios específicos para el almacenamiento de productos es una configuración táctica para los almacenes. Esta asignación impacta directamente en las tareas operativas, como la preparación y recolección de producto (Boysen, N. et al., 2019) reduciendo

así los desperdicios generados en esta actividad, como el tiempo de proceso y las distancias de transporte (Scholz et al., 2016). El almacén de un centro de distribución es un área clave para las operaciones, ya que es la base de toda la cadena operativa. Si hay errores, afectará a las áreas dependientes.

Así, los reprocesos, los tiempos excesivos debido a la falta de estandarización y los múltiples movimientos innecesarios, serán responsables de la generación de desperdicios e ineficiencia en el proceso (Jana, P. 2021). Al definir una política de almacenamiento fija, es posible aumentar la eficiencia del montaje de pedidos, ya que los operarios se familiarizan con la disposición de los artículos en el almacén (Wang, M. 2020). Petersen et al. (2005) apoyan la decisión de almacenamiento fijo según una de las siguientes propiedades del artículo: popularidad, volumen, rotación, cubo por pedido y densidad de recolección. Diferentes enfoques proponen el uso de estas propiedades, como Keung, K. (2021) que utiliza un patrón de correlación de datos-base para probar la asignación de productos. Por otro lado, se ha examinado la localización del almacenamiento basada en la técnica de agrupamiento y asignación por afinidad, considerando diferentes estrategias de enrutamiento (Reyes, J. et al. 2019). Las estrategias de almacenamiento basadas en la correlación (agrupamiento familiar) colocan los artículos correlacionados cerca unos de otros, de manera que se reduce el esfuerzo de selección (Mirzaei, M. et al. 2021).

2.3. Método de recolección de productos

Una parte fundamental de la gestión de operaciones, además de la gestión de los métodos de trabajo estándar mencionados anteriormente, se centra en el entorno de trabajo. Esto se refiere al control y análisis de la actividad objetivo de la operación. Por lo tanto, uno de los sistemas de mejora operativa y el principal elemento de enfoque es la actividad de preparación de pedidos. Esto ayudará a reducir el tiempo y los costes de la operación. Se

expone una preparación de pedidos que se recoge por caja cerrada en lugar de por unidad, en función de la demanda, y su reacción en términos de cantidad de compra.

Cuando los pedidos se colectan en un paquete o bulto, la forma de recoger el producto influye directamente en el tiempo para completar las tareas de recolección. Sin embargo, son pocos los trabajos que han estudiado sistemáticamente cómo optimizar la preparación de pedidos en paquetes desde la perspectiva de los diferentes sistemas de recolección (Yang, P. et al, 2020). Dado el valor potencial que este enfoque aporta a los sistemas de recolección de los almacenes, es necesario crear y analizar un plan de recolección. Los estudios experimentales comparan la recogida empírica por unidad frente al factor de embalaje (Zhong, S. et al. 2021). Shuya Zhong (2021), afirma que la integración entre la recogida y el embalaje del producto puede aumentar el rendimiento en aspectos como la cantidad de pedidos, la categoría de los mismos, la mano de obra, entre otros. Una de las técnicas utilizadas para corregir el factor de embalaje es analizar la demanda actual, junto con datos históricos sólidos de producción, para entender el comportamiento de la demanda de productos por salida individual.

Los métodos de mejora expuestos anteriormente se utilizarán para optimizar el funcionamiento dentro del centro de distribución, con la ayuda y orientación de un método de seguimiento y control para gestionar eficazmente el progreso del proyecto.

3. METODOLOGÍA

En el camino de la mejora continua, es fundamental identificar los problemas existentes que impiden un resultado más eficiente y eficaz. Así, el entendimiento del escenario actual, a través de la observación directa, ayudará a identificar los problemas, y a buscar soluciones adecuadas para mitigarlos.

Un buen enfoque es la investigación-acción (IA), un análisis secuencial de enfoques a través de la resolución de problemas que equivale a una verdadera investigación-acción. La

estrategia que presenta esta metodología aplica el conocimiento en la acción mediante la construcción de teorías y pruebas en la acción. La parte clave de esta metodología implica un cambio de mejora directa, para eliminar el desperdicio y establecer la mejora en un proceso más eficiente (Rushton, A. et al. 2006).

El enfoque requiere la cooperación entre los investigadores y el equipo de trabajo implicado -un activo importante- teniendo en cuenta las aplicaciones reales de las soluciones propuestas por esta investigación. Esta metodología permite trabajar en conjunto con el conocimiento científico y el de la empresa, para lograr los objetivos, como eliminar los desperdicios y hacer más eficiente el proceso, siempre teniendo en cuenta la mejora. La Figura 1 muestra la metodología utilizada en este estudio:

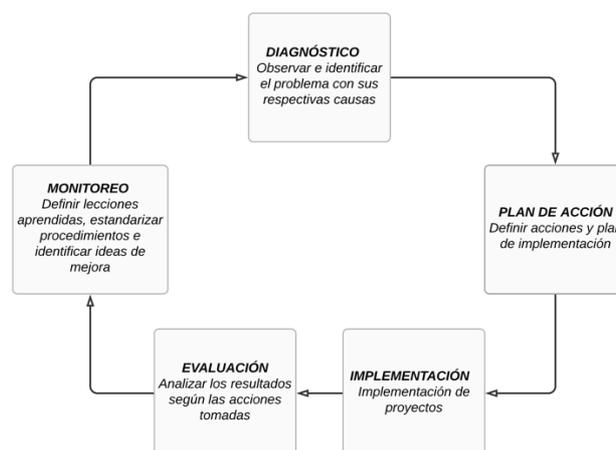


Figura 1 Etapas de la metodología aplicada (Rushton, A. et al. 2006).

Se seguirán los pasos de la "metodología IA" descritos.

3.1. Diagnóstico

La primera etapa de esta metodología se basa en la recolección y el análisis de datos para diagnosticar el problema de fondo. En esta etapa, se entenderá la gestión actual de la logística y los sistemas dentro del almacén y se identificarán los problemas potenciales, en apoyo de un enfoque de filosofía Kaizen, con el fin de encontrar métodos para resolverlos (Rushton, A. et al. 2006).

3.2. Plan de acción

Una vez identificado el problema, se establecen las acciones correctivas determinando lo que hay que cambiar y cómo se realizará, teniendo en cuenta los recursos disponibles y la viabilidad (Rushton, A. et al. 2006). Del mismo modo, un plan de intervención con pasos claramente definidos.

3.3. Implementación

A partir del plan previamente detallado, se implementan las acciones correctivas y de mejora teniendo en cuenta a todos aquellos miembros clave de la organización que están involucrados en las áreas afectadas, y considerando ciertas limitaciones que puedan surgir (Rushton, A. et al. 2006).

3.4. Evaluación

Una vez implementadas las acciones, se evalúan los resultados para conocer la magnitud del impacto generado por los cambios propuestos, con el fin de recibir una retroalimentación útil para futuros pasos y sugerencias (Rushton, A. et al. 2006).

3.5. Monitoreo

El último paso de la metodología es el seguimiento de las mejoras implementadas, estableciendo un plan de control para futuras acciones con un enfoque de mejora continua. Dentro del campo de la gestión de operaciones, las prácticas de IA se centran en la búsqueda de soluciones a los problemas de procesos ineficientes a los que se enfrenta una organización (Rushton, A. et al. 2006).

Una vez identificada la metodología, se utilizará para la evaluación del caso de estudio a partir de la revisión e implementación de mejoras enfocadas a optimizar el problema de investigación.

4. CASO DE ESTUDIO

Este análisis se realizó en una empresa ecuatoriana que distribuye una amplia gama de productos de ferretería y construcción a nivel nacional. Por razones de confidencialidad llamaremos la empresa XYZ. Actualmente cuenta con un catálogo de 7027 productos, que se ofrecen y distribuyen en 16 provincias de Ecuador. El valor de las ventas diarias oscila entre 150.000 y 200.000 dólares, generando una media de 540 pedidos. La operación cuenta con tres equipos operativos que se encargan de almacenar los productos, armar los pedidos y despacharlos a lo largo del día.

El centro de distribución no dispone de un SGA ni de ningún sistema automatizado que agilice sus actividades. Además, actualmente operan con sistemas no estandarizados relacionados con la gestión del almacén, como sus métodos de ubicación de productos; con una política de almacenamiento caótica, la operación se vuelve altamente manual y se deriva de la toma de decisiones del operador en situaciones o acciones no listadas. Los productos se asignan aleatoriamente a una ubicación dentro de 3 almacenes conjuntos, que tienen una superficie total de 2473 m². La principal ventaja es su gran simplicidad a la hora de almacenar el producto; sin embargo, el inconveniente es el largo tiempo de desplazamiento de los operarios para recoger los productos (Kofler, M., et al. 2014).

La operación actual está sujeta a este y otros problemas, por lo que se están generando múltiples desperdicios que afectan principalmente al tiempo y a los movimientos de la preparación de pedidos. Se pretende identificarlos, reducirlos y solucionarlos aplicando métodos de mejora siguiendo la metodología IA.

4.1.Diagnóstico

La primera sección de la metodología de la Investigación Acción, el Diagnóstico, se dividió en 3 sub-etapas esenciales basadas en el principio Kaizen, que involucra y utiliza el conocimiento y la experiencia sobre el sistema de quienes están familiarizados en el día a día en el proceso a evaluar. De este modo, se obtuvo lo siguiente:

4.1.1. Descripción del problema

Centrándonos en el problema a estudiar y resolver, que es el exceso de tiempo en que incurre un operario en la preparación de pedidos, se analizaron los datos históricos proporcionados por la empresa para definir la línea base del proceso en cuestión. En este caso, la línea base se definió a través de dos enfoques considerando el trabajo de los operarios del equipo de recolección, formado por 16 personas; 12 de ellas realizan la preparación de pedidos, mientras que 4 operarios se dedican a verificar y embalar el producto recogido.

En primer lugar, se verificaron las horas trabajadas por ellos, en un periodo de 112 días (6 meses), de enero de 2021 a junio de 2021, a partir de sus informes de rendimiento diario. Las políticas internas de la empresa definen 8 horas como jornada laboral normal, sin tener en cuenta las pausas previstas (almuerzo y/o reuniones). Como puede verse en la Figura 2, hay una alta frecuencia de 51 días en los que el tiempo de trabajo se respetó moderadamente, con no más de 9 horas trabajadas. Sin embargo, esto representa sólo el 45,5% del total de días considerados en los 6 meses. En términos macro, la mayor frecuencia la generan aquellos días en los que el equipo de recolección trabaja más de 9 horas, llegando a trabajar hasta 15-16 horas, en el peor de los casos, generando a final de mes el trabajo de 3 a 4 días adicionales de horas extras.

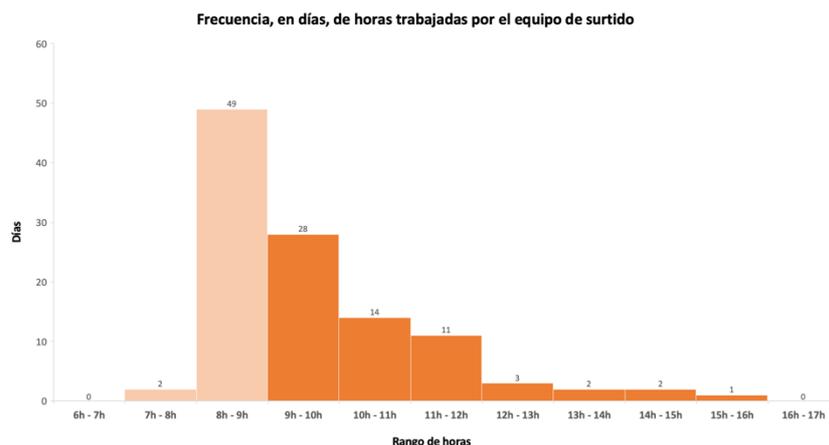


Figura 2 Frecuencia, en días, de las horas trabajadas por el equipo de recolección. (Realizado por el autor)

Es posible que una de las causas de las horas extras esté directamente relacionada con las ventas y la fluctuación de la demanda, ya que la empresa se dedica a la distribución directa a minoristas, la gran mayoría de los pedidos deben enviarse el mismo día en que se generan.

A continuación, era necesario definir si la variación del rendimiento de los operarios del equipo de recolección influía en el rendimiento general de la operación dentro del Centro de Distribución. Para ello, se evaluó el estado de rendimiento de cada operario y si variaban unos de otros.

En el primer paso, se recogieron los datos de rendimiento de cada operario implicado en la actividad de recolección desde enero de 2021 hasta junio de 2021, junto con la media mensual de líneas por hora procesadas por cada operario, que es un indicador clave de rendimiento predefinido por la empresa como métrica de evaluación del rendimiento.

El enfoque utilizado fue un análisis de varianzas de una vía (ANOVA de una vía), que compara las medias de dos o más grupos independientes para determinar si existe evidencia estadística de que las medias asociadas son significativamente diferentes (Montgomery, D. 2013). En este estudio se utilizará esta herramienta estadística para comprobar si existen diferencias estadísticas entre las medias de rendimiento de los 12 operarios dentro del equipo

según la ecuación (1), el modelo de efectos tomando incluye como media global, τ_i como el efecto de cada operario, y ε_{ij} como un error aleatorio incluido para considerar otras fuentes de posible variabilidad.

$$\gamma_{ij} = m + \tau_i + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, 12 \\ j = 1, 2, \dots, 6 \end{cases} \quad (1)$$

Fue necesario definir la hipótesis de análisis, junto con su respectiva hipótesis alternativa, que se espera rechace o no el hecho afirmado. Se definió de la siguiente manera:

Ho: Los rendimientos medio del operador son todos iguales.

Ha: Al menos la media de rendimiento de un operador es diferente entre todos.

Utilizando la herramienta estadística Minitab, se desarrolló el análisis de varianzas, definiendo los parámetros necesarios, como el nivel de significación al 0,05, ya que, para la evaluación de los indicadores clave de rendimiento con test de dos colas, este nivel alfa es suficiente para el alcance del estudio (Popoola, S. et al. 2018). Como se puede observar en la Figura 3, las medias de los rendimientos de los operadores no son lineales, fluctúan entre ellas y, por tanto, parece que son estadísticamente diferentes. Al analizar los resultados del ANOVA dados en la Tabla 1, el valor p es menor que el alfa, que se definió como 0,05, por lo que es posible concluir que se rechaza la hipótesis nula, considerando así que los operadores de recolección no tienen un rendimiento similar entre ellos.

Tabla 1 ANOVA resultados de la prueba de análisis de varianza entre las medias de rendimiento de los operadores

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value

Operator	11	564,4	51,311	6,75	0
Error	53	402,8	7,6		
Total	64	967,2			

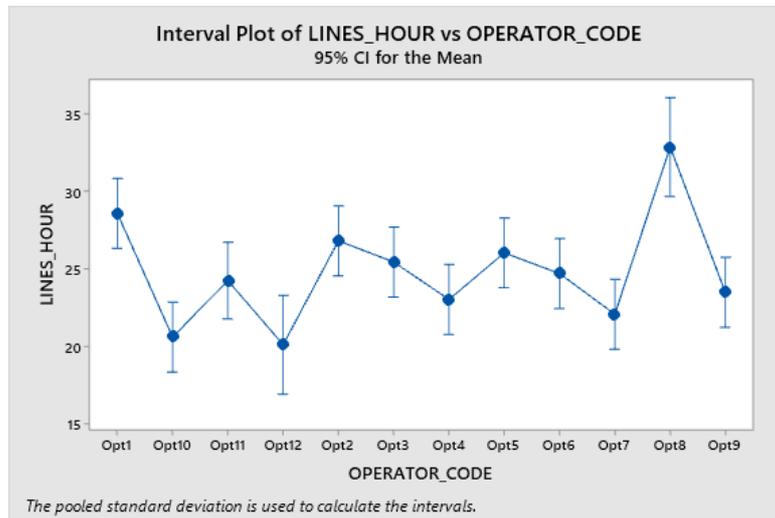


Figura 3 Gráfico de intervalos de los KPI vs. operadores (Realizado por el autor)

Ahora bien, está claro que el comportamiento de los operarios de recolección es significativamente diferente. Cuando se habla de una buena gestión de procesos, las actividades del proceso deben adaptarse al operario, y no al contrario (Niebel, B. Freivalds, A. 2009). En este caso hay una diferencia de rendimiento de hasta el 50% entre ellos, lo que nos da a entender que los operarios están adoptando estrategias individuales y se ven obligados a adaptarse al proceso.

Así, el objetivo es determinar un plan estratégico para minimizar el problema, encontrar su causa raíz y procesar las deficiencias a través de una lista de posibles causas dadas por los coordinadores del centro de distribución.

4.1.2. Búsqueda de las posibles causas del problema

Como se mencionó anteriormente, de acuerdo con lo proporcionado por los coordinadores del centro de distribución de la empresa, las causas identificadas son responsables de afectar el desempeño del operador y los tiempos excesivos de preparación de pedidos incurridos en la operación. Se analizarán para definir un plan de acción. La información se recopiló con ayuda de un diagrama causa-efecto, como se muestra en la Figura 4.

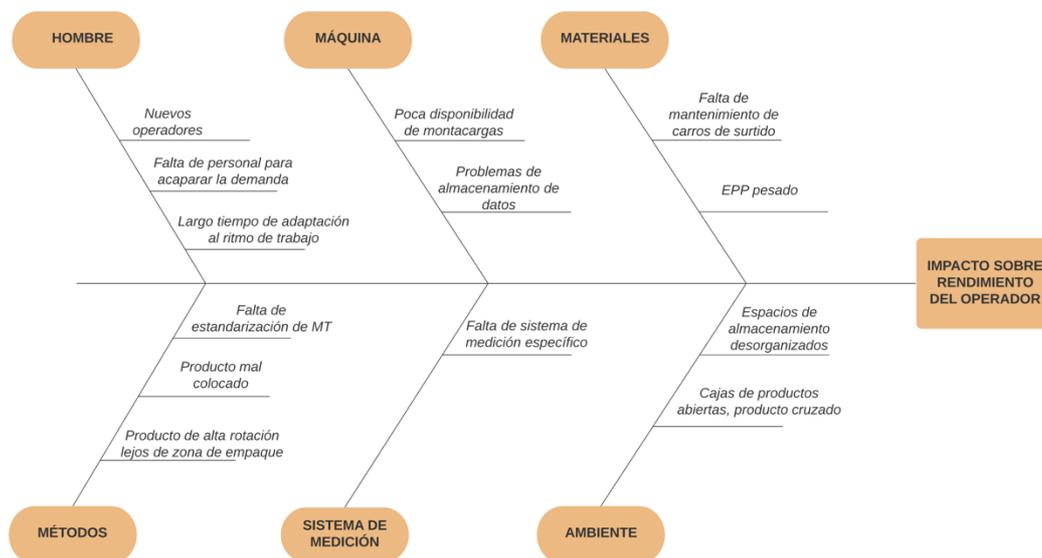


Figura 4 Diagrama de causa y efecto del impacto en el rendimiento del operador (Realizado por el autor)

Se logró identificar las causas que están impactando negativamente en el desempeño de los operadores, teniendo como puntos clave las deficiencias en la estandarización de los procesos, la lenta adaptación a la operación por parte de los nuevos operadores, la falta de disponibilidad y mantenimiento de los equipos de trabajo.

4.1.3. Definir las causas reales del problema

Teniendo en cuenta el diagrama causa-efecto, el objetivo del estudio se centra en los problemas generados por los métodos de gestión dentro del centro de distribución y el entorno en el que trabajan los operarios. Se decidió centrar los esfuerzos en estos aspectos ya que se espera que su mejora tenga un alto impacto en el funcionamiento general del centro de distribución. Los demás aspectos se tendrán en cuenta para futuros estudios de aplicación rápida y toma de decisiones instantánea.

Primero, relacionado con los problemas del método, se analizó el supuesto de producto mal localizado, considerando aquellas referencias que salen con frecuencia del centro de distribución y se encuentran alejadas del área de envasado. Era necesario verificar los recorridos que los operarios debían realizar al recoger determinados pedidos.

De manera eficiente, se espera que aquellos productos que tienen una alta frecuencia de salida se encuentren cerca de la zona de envasado. Para ello, utilizando la regla de Pareto 80-20, se analizarán las distancias teóricas de desplazamiento de aquellos pedidos que sólo tengan productos dentro del 80% de la frecuencia de salida acumulada entre julio de 2020 y junio de 2021. Con un total de 1034 artículos diferentes (el 16% del catálogo de productos activo), que incluye el 70% de las salidas generadas, se consideraron 41150 pedidos para calcular la distancia teórica de desplazamiento en la que deberían incurrir los operarios al realizar la recolección de estos pedidos, y así realizar un contraste considerando una distancia aproximada si estos artículos se hubieran agrupado en un único sector cercano a la zona de embalaje. Para el estudio específico, se propuso la siguiente ecuación (2) que calcula la distancia teórica de viaje considerando la distancia media de viaje por producto ubicado en un almacén específico dentro del centro de distribución.

$$F_j = \sum_{i=0}^3 (C_{ij} + (x_{ij} - 1) * d_{ij}) * e_{ij} \begin{cases} i = 1,2,3 \\ j = 1, \dots, 41150 \end{cases} \quad (2)$$

Siendo i el número de posibles almacenes a recorrer y j el número de pedidos analizados. El resultado F_j representa la distancia teórica de recorrido, en metros, por pedido j . La constante C_{ij} define una distancia inicial al viajar al almacén i de la factura j . Luego, se añade una distancia media recorrida dentro del almacén i en función del número de artículos que hay en su interior. x_{ij} representa el número de artículos a recoger del almacén i en el pedido j y se resta 1 porque la distancia para recoger el primer artículo se considera en la constante C_{ij} . La constante d_{ij} es una distancia media de recogida entre los productos a recoger dentro del almacén i , por lo que se multiplica por el número de productos a recoger del almacén i en los pedidos j . Por último, se utiliza una variable binaria e_{ij} , que expresa si existe o no el producto a recoger en el almacén i de la factura j . Las constantes para cada caso son las definidas en la Tabla 2.

Tabla 2 Constantes consideradas para la ecuación 2

CASO	C [m]	d [m]
i = 1	48	10
i = 2	49	11
i = 3	45	8

Ahora, como se puede ver en la Figura 5, donde se muestra la disposición del centro de distribución, es posible observar los 3 almacenes disponibles para almacenar el producto, así como la zona de embalaje situada justo entre los almacenes 1 y 2. El rectángulo rojo representa una rampa de conexión entre el almacén 1 y el área de embalaje, por lo que se considera una restricción de movilidad entre ellos. En cuanto al análisis de las diferencias entre las distancias, se realizaron dos contrastes; La primera consistió en analizar la diferencia entre la distancia teórica y la distancia si todos los productos se hubieran agrupado en el almacén 1, obteniendo como resultado una disminución media de la distancia recorrida de 75m por pedido; la segunda se analizó considerando una agrupación de productos en el almacén 2, lo que nos dio una

disminución de la distancia recorrida de 68,75m por pedido. Aunque reubicar los productos de mayor rotación en el almacén 1 nos da un mejor resultado que reubicarlos en el almacén 2, la rampa de conexión genera limitaciones como el esfuerzo extra del operario por subir y bajar constantemente la rampa, mayor riesgo para la espalda y la zona lumbar por el transporte de camionetas pesadas debido al peso de la ferretería y el material de construcción, mayor riesgo de accidentes, entre otros. Por lo tanto, además de reubicar el producto con buena rotación en zonas más cercanas al área de empaque reduce la distancia promedio de recorrido, el siguiente análisis se enfocará en ubicar el producto de alta rotación en el almacén 2.

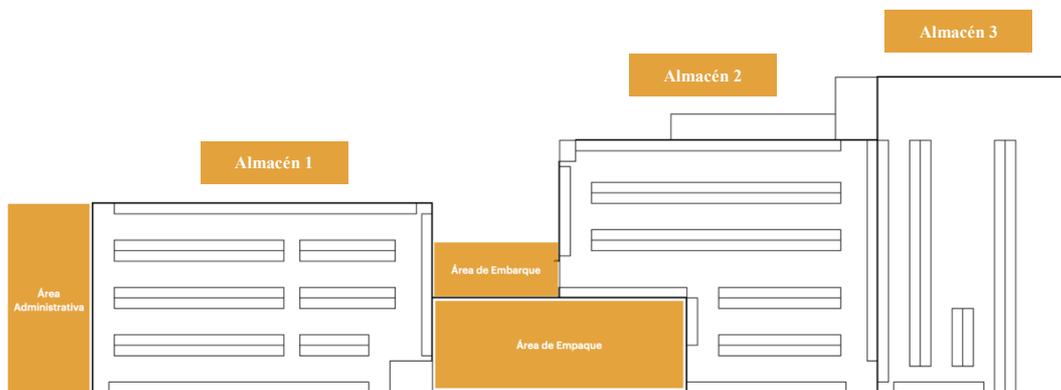


Figura 5 Diseño del centro de distribución (Realizado por el autor)

Ahora, al analizar el entorno, se realizó un Gemba walk o inspección visual. A través del Gemba walk, como dice Jana (2021), será posible identificar de primera mano dónde se están produciendo residuos en el proceso. Como se puede observar en la Figura 6 hay un producto mal manipulado, mezclado, fuera de su embalaje real. Todo ello conlleva problemas como la recogida incorrecta de los productos, el mal estado del material, el almacenamiento desorganizado y la mala gestión del almacén. Además, a la hora de recoger el pedido, el operario ahorraría un tiempo considerable si la recolección se realizará por paquete, y no por

unidad. De este modo, se mantendría un almacenamiento más limpio, con menos riesgo de cruce de productos y facilitando el trabajo de los operarios del equipo de recolección.



Figura 6 Estado del producto en el almacén (Realizado por el autor)

En resumen, a partir de los análisis realizados, se pudo comprobar la falta de estandarización y aplicación de métodos operativos para mejorar el proceso diario. Por un lado, al no tener una política de almacenaje que priorice unos productos sobre otros, se producirá una ineficiencia en las distancias de desplazamiento por pedido a realizar. Por otro lado, al mantener una venta unitaria en todo el catálogo activo, el producto dentro del almacén siempre será propenso a mezclarse, dañarse, y los tiempos de recogida del producto serán mayores en comparación con una recolección por empaque cerrado.

4.2. Plan de acción

Dados los resultados de la fase de diagnóstico, para optimizar el funcionamiento dentro del centro de distribución, el estudio se centrará en:

- Minimizar las distancias de recorrido en la actividad de recolección de órdenes, definir un plan de reubicación de productos y priorizar su ubicación según sus niveles de rotación actuales, ubicando los de alta rotación cerca de la zona de empaquetado y a

medida ésta disminuye, ir posicionando según la ruta óptima encontrada con la ayuda de algoritmos de búsqueda integral TSP.

- Minimizar los tiempos de selección de productos específicos analizando la viabilidad de la venta de productos por paquete a partir de la información histórica de salida por producto.

4.3. Implementación

4.3.1. Optimización de la ruta recorrida TSP

En la construcción del algoritmo TSP de búsqueda exhaustiva se tomó como estructura de datos base la propuesta por Mark Weiss (2012), a través de la cual, utilizando el lenguaje de programación Java, se realizó la creación de vértices como objetos de datos para la conformación de un grafo capaz de agrupar un número n de vértices y se analizaron sus conexiones con la ayuda de funciones específicas de seguimiento condicional. Además, se implementó una función de búsqueda exhaustiva que analiza cada una de las posibles rutas, localiza la de menor distancia obtenida e imprime el resultado en la consola. Fue importante añadir una función adicional que localiza aquellas rutas con resultados similares para elegir la que mejor se adapte a la operación y condiciones específicas a las que está sujeto el centro de distribución.

Sobre la base de la bibliografía utilizada, la estructura de los objetos vértice y grafo se construyó como se muestra en la Figura 7, adaptando las funciones de cálculo y recopilación de información, así como las funciones clave, que se muestran en la Figura 8.

Como primera instancia, se utiliza la función "setPaths()" para configurar cada uno de los posibles caminos de ida y vuelta, partiendo de un vértice de origen. Por razones de lógica computacional, el algoritmo asigna un peso, en este caso, una distancia en metros, entre todos los vértices, estén o no interconectados según el esquema de la red construida. Para la conexión

ficticia entre aquellos vértices que no tenían una conexión real, se utilizó el método de la gran M con el fin de asignar un valor suficientemente alto a esta conexión para que el algoritmo, al calcular la distancia total generada por una ruta específica, no considere aquellas rutas que no son factibles de tomar (Zhang, L. et al. 2021).

La función "ExhaustiveSearch" considera todas las rutas configuradas y calcula sus distancias, identificando así la(s) ruta(s) con la menor distancia de viaje posible, identificando una respuesta óptima general.

```

* @author kevinonos
*/
public class Vertex
{
    private int NVertex;
    private ArrayList<Object> MyVertex;
    private ArrayList<Boolean> aux;
    private int identification;

    public Vertex()
    {...6 lines }

    public Vertex(int NVertex, int ID)
    {...13 lines }

    public void setDistance(int vertex, Object value)
    {...4 lines }

    private void setAllDistances()
    {...17 lines }

    public ArrayList getVertex()
    {...4 lines }

    public void setIdentification(int ID)
    {...3 lines }

    public int getIdentification()
    {...3 lines }

    public int getSpecificDistance(int index)
    {...3 lines }
}

* @author kevinonos
*/
public class Graph
{
    private int NO_PARENT;
    private int NVertex;
    private ArrayList<ArrayList> MyGraph;
    private ArrayList<ArrayList> MyPaths;
    private ArrayList<Boolean> Visited;
    private ArrayList<Vertex> MyVertex;
    private ArrayList<String> MyNames;

    public Graph()
    {...9 lines }

    public Graph(int NVertex)
    {...13 lines }

    public void setVertex(Vertex V)
    {...4 lines }

    public ArrayList getVertex()
    {...3 lines }

    public void setNames(ArrayList N)
    {...3 lines }

    public ArrayList getNames()
    {...3 lines }

    public ArrayList getPaths()
    {...3 lines }

    public ArrayList shortestAnalyzer()
    {...10 lines }

    private ArrayList shortestPath(ArrayList<ArrayList> allPaths)
    {...13 lines }

    private ArrayList<ArrayList> setPaths()
    {...22 lines }
}

```

Figura 7 Estructura de datos del grafo en código (Realizado por el autor)

```

private ArrayList<ArrayList> setPaths()
{
    ArrayList<ArrayList> aux = new ArrayList<>();
    ArrayList<Integer> first = new ArrayList<>();
    int[] arr = new int[NVertex-1];

    for(int i = 1; i < arr.length; i++)
    {
        arr[i-1] = i;
        first.add(i);
    }

    ExhaustiveSearch perm = new ExhaustiveSearch(arr);

    aux.add(first);
    aux.add(perm.GetFirst());
    while (perm.HasNext())
    {
        aux.add(perm.GetNext());
    }

    return aux;
}

* @author kevinonos
*/
public class ExhaustiveSearch
{
    private int Arr[];
    private int Indexes[];
    private int Increase;
    private int source;

    // Constructor
    public ExhaustiveSearch(int arr[])
    {...6 lines }

    public ExhaustiveSearch(int arr[], int source)
    {...6 lines }

    public ArrayList GetFirst()
    {...16 lines }

    public boolean HasNext()
    {...3 lines }

    public ArrayList GetNext()
    {...53 lines }

    private ArrayList Output()
    {...20 lines }

    private void Swap(int p, int q)
    {...5 lines }
}

```


considerando que al final de la ruta del almacén 3, el operario debe continuar con la ruta del almacén 2 desde el punto 15, resultando una distancia total de 285m.

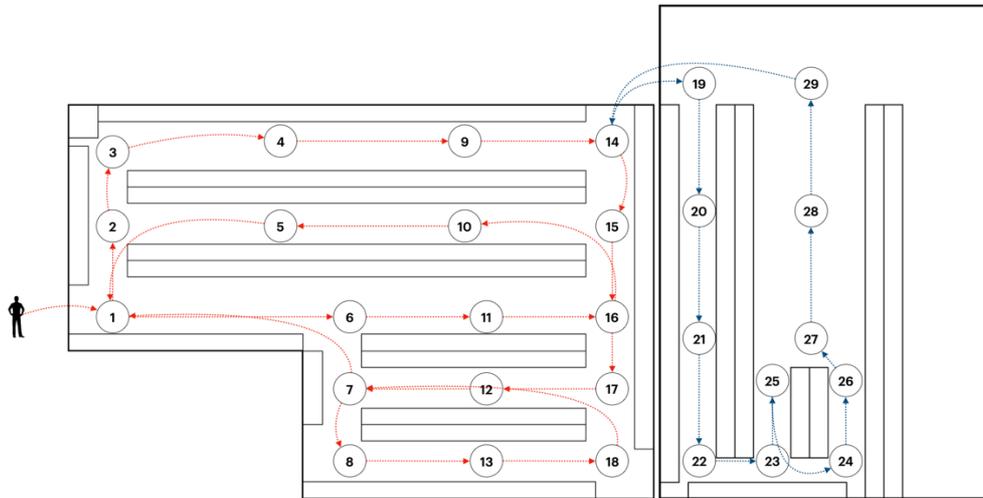


Figura 10 Caso 2: Trazado de la ruta del centro de distribución (Realizado por el autor)

Para el recorrido de todos los almacenes se añadieron 11 vértices, creando un total de 40 vértices distribuidos por los 3 almacenes, configurando sus posibles conexiones y distancias entre cada vértice creado. En este punto se retomó la restricción generada por la rampa de conexión entre el almacén 1 y la zona de embalaje. El operario, cada vez que tenga que coger productos de este almacén, deberá hacerlo al principio de su ruta, ya que así podrá bajar la rampa con su carro vacío y subir la rampa con la menor cantidad de producto posible en el carro de recolección, minimizando el peso del carro y evitando los riesgos adversos que genera.

No se consideraron los vértices de la sección izquierda del almacén 1 porque el objetivo de la aplicación se centra en visitas poco frecuentes a esta zona, ya que se espera colocar allí productos de baja o incluso nula rotación para recoger la menor cantidad de producto posible. Así, se encontró el esquema descrito en la Figura 11, que muestra con flechas las rutas óptimas a seguir. Si se recorre cada uno de los almacenes de forma completa e independiente, la distancia total de recorrido sería de 371 m.

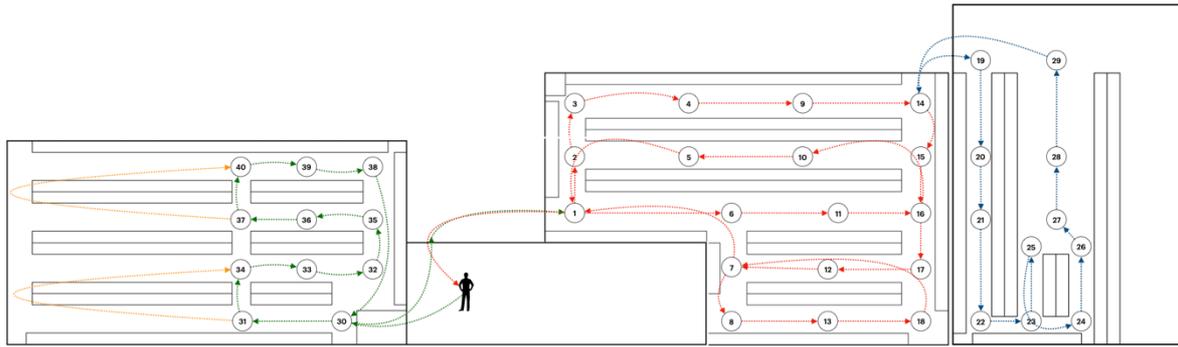


Figura 11 Caso 3: Trazado de la ruta del centro de distribución (Realizado por el autor)

Una vez identificada la ruta óptima, estableciendo aquellos puntos en los que el operario incurría constantemente al iniciar su recorrido, se realizó un análisis de reubicación de materiales, priorizando las localizaciones cercanas a aquellos productos con alta frecuencia de salida, con el fin de reducir, de media, la distancia a recorrer para la recolección de productos por factura.

4.3.2. Plan de reubicación de productos

El plan de reubicación de productos se basó en la priorización de la frecuencia de salida de SKUs (Stock Keeping Unit) por factura para cada artículo. Se consideró un Kardex de movimientos de un año, desde julio de 2020 hasta finales de junio de 2021, con un total de más de 520 000 registros analizados. Durante el período, de los 7027 productos del catálogo de ventas actual de la empresa, 6453 se han vendido al menos una vez, y 574 artículos no. La Tabla 3 muestra los 4 primeros y últimos códigos de productos, ordenados del mejor al peor volumen de ventas, respectivamente.

Tabla 3 Código con su respectiva frecuencia de salida

CÓDIGO	FRECUENCIA DE SALIDA
S181433	3520

V101005	3490
E243499	2297
P150003	2204
...	...
P000118	1
D104027	1
D104026	1
T200119	1

Se utilizó el método K-Means, un algoritmo de aprendizaje automático no supervisado, para realizar una clasificación ABC de criterio único basada en la frecuencia de salida de cada SKU agrupada de forma que se ajuste a la optimización del objetivo de la operación dentro del centro de distribución.

El conjunto de datos se introdujo en el algoritmo de agrupación K-Means, calificando la calidad de la clasificación con una puntuación de Silhouette según el número de grupos generados. Cuanto más se acerque la puntuación a 1, mejor será la calidad y la bondad de la clasificación. Estableciendo un estándar de generación de 3 a 5 grupos, el mejor resultado en términos de calidad de los grupos fue de 0,78, con 3 grupos generados. Así, como se puede observar en la Tabla 4, existe una distribución razonable del número de SKUs en los dos primeros grupos, que consideran los SKUs con mayor volumen de negocio. Por otro lado, el grupo C3 tiene un número muy elevado de productos, un total de 5673 de ellos. Esto se debe a que hay productos estrella, siendo la minoría de ellos los de mayor frecuencia de rotación en el centro de operaciones, reafirmando así los resultados del análisis de ineficiencia en la ubicación de los productos analizados en el apartado de diagnóstico.

Tabla 4 Primera agrupación K-Means

GRUPO	# SKU
C1	104

C2	676
C3	5673

Por las necesidades del estudio, fue necesario realizar otro análisis de grupos, considerando ahora sólo aquellas SKUs dentro del grupo C3 para identificar de forma segmentada dónde deben ubicarse dentro de los 3 almacenes disponibles. Así, los resultados mostrados en la Tabla 5 corresponden a las agrupaciones, asignando a cada una de ellas la clasificación ABC, clasificando con AA aquellos productos con muy alta rotación, y con D aquellos productos que han salido muy poco o nada del centro de distribución.

Tabla 5 Clasificación ABC

ABC	# SKU
AA	104
A	676
B	679
C	1297
D	3697

Considerando de nuevo qué almacén es el principal, y donde se centrará el máximo flujo de movimiento de la operación, se utilizará el almacén 2 para los productos con clasificación de rotación AA, A y B, y el almacén 3 para los productos clasificados como C, ya que se encuentra junto al almacén 2 y es más rápido el transporte entre ellos. Por último, el producto clasificado como D se almacenará en el almacén 1, como se explica en la Figura 12. Hay que tener en cuenta que, además de los 3.697 códigos que hay que colocar en el almacén 1, también hay que trasladar al almacén 1 las 574 referencias que no han tenido ningún tipo de movimiento.

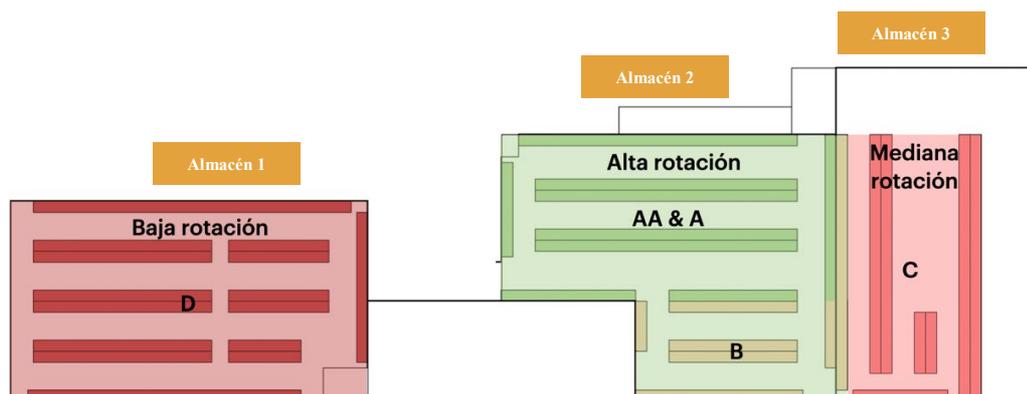


Figura 12 Trazado de la ruta del centro de distribución con clasificación según frecuencia de salida (Realizado por el autor)

Considerando un comportamiento de rotación de producto similar al periodo de julio de 2020 a junio de 2021, y una implementación completada en la reubicación de las diferentes 7027 SKUs, se espera que del total de facturas que se generan en un periodo de tiempo, tengan los porcentajes de incidencia en los viajes de recogida de producto como se muestra en la Tabla 6. Como se puede observar, el cumplimiento del objetivo de reducir la distancia de desplazamiento en la operación de recogida de facturas se evidencia al centrar esta actividad en un único almacén, consiguiendo así que casi el 65% de todos los pedidos generados tengan el producto ubicado únicamente en el almacén 2, de forma que los operarios no tengan que desplazarse, en su mayoría, a los almacenes adyacentes.

Tabla 6 Porcentaje de impacto en la ruta de recogida, agrupado por viajes a los almacenes

CASO	% DE IMPACTO SOBRE TODAS LAS FACTURAS
ALMACÉN 2	64,27 %
ALMACÉN 1 & 2	14,80 %
ALMACÉN 1, 2 & 3	7,91 %
ALMACÉN 2 & 3	6,95 %
ALMACÉN 1	4,38 %
ALMACÉN 3	1,13 %
ALMACÉN 1 & 3	0,56 %

Una vez identificados los métodos que se utilizarían para optimizar el funcionamiento, reduciendo la distancia media de desplazamiento al recolectar un pedido, el siguiente objetivo de la investigación fue reducir los tiempos de recogida de productos específicos.

4.3.3. Viabilidad de recolección por paquetes

Se analizó la viabilidad de vender cada producto por paquete. Esto se hizo con el fin de evitar la afectación de los tiempos considerados como desperdicio al generar movimientos innecesarios dentro de la operación, como la apertura y resellado de la caja de empaque, y otras consecuencias adversas como el cruce y mal estado del producto, desorganización de los espacios de almacenamiento, entre otros. Para este análisis, la información relevante a considerar es la proporcionada por el consumidor directamente a la empresa en base a su comportamiento de adquisición de material, por lo que queremos identificar si el cliente estuviese dispuesto a comprar paquete o no en base al historial de ventas. El equipo de almacenamiento proporcionó información sobre aquellas SKUs que son candidatas a la venta por paquete, es decir, aquellas que se han vendido por unidad, teniendo la posibilidad de venderlas por su paquete cerrado, ya que hay productos como sierras de mesa, taladros, cubos de cadena, y otros que no deben ser considerados para este análisis ya que vienen en unidades separadas de su suministro. Se identificaron un total de 1909 SKUs como candidatos a ser considerados para este análisis, los mismos que son presentados en la Tabla 7.

Tabla 7 Códigos candidatos a aplicar venta por empaque

#	CÓDIGO	NOMBRE
1	B281616	PT BROCHA M/NATURAL 5 (12U) PROTOOLS
2	C102230	IMPA CAJETIN RECT. NACIONAL C-24 REF. (50UxFD)
3	B280556	IMP BROCA CONCRETO ALEMANA 3/8 (10U)
4	V101020	VETO PLA35314 BL TELEF+COAXIAL (10U) (200CJA)

1906	A110117	ABRAZAD. TITAN CARB. 30-06 (25/32") (20UXFD)

1907	D141036	DESTORCEDOR #2 (12U)
1908	G310262	MASTER GUANTE NEGRO/NARANJA C-35 8" (120PARxCJ)
1909	B180702	INDUMA BISAGRA 2" DOR./PASAD. (12PRS)

Considerando un Kardex de movimientos de un año, desde julio de 2020 hasta el final de junio de 2021, se analizó la cantidad de salida de productos por factura, llegando así a una puntuación ponderada de viabilidad de ventas por paquete para cada artículo. Se propuso la ecuación 3 para poder calificar la cantidad de salida de cada artículo en cada factura. Se basa en un principio simple, en el que se comparan las unidades de producción del producto en la factura con las unidades del producto en el paquete sellado. Así es como se maneja la fórmula en general, se dividen ambos términos y si la producción en la factura fue la más cercana a las unidades por paquete de ese producto, la calificación será la más cercana a 1. Sin embargo, hay una variación cuando se analizan aquellas facturas que tienen un mayor número de producción por producto que el número de unidades por paquete de ese producto.

Se basa en el mismo principio, pero a medida que el número de ventas aumenta o se aleja del paquete, la fórmula recompensa esas facturas otorgando un valor porcentual adicional en el momento de la calificación. Esto se debe a que, aunque la venta no haya sido toda en unidades redondas (por paquetes), se examina el hecho de que se haya vendido un número n de paquetes, más las unidades adicionales. A medida que n crece dentro de las ventas por factura, la fórmula reduce gradualmente la penalización hacia el porcentaje de viabilidad final obtenido.

$$Feasibility = F = \frac{Quantity\ product\ sold\ x\ Invoice}{Quantity\ product\ x\ Package} \begin{cases} \frac{F}{10} + 0,4 + |roundDown(F) - F + 0,5| & F < 1 \\ F > 1 & F > 1 \end{cases} \quad (3)$$

Un ejemplo de cómo funciona la ecuación se presenta en la Tabla 8, donde se consideran las diferentes salidas que ha tenido un producto y cómo se califican. Para el ejemplo

se utilizó un Disco de Corte que viene en paquetes de 25 unidades. Se puede apreciar la cantidad de cada salida y como cada una recibe una viabilidad. A medida que la venta es mayor, la fórmula penaliza menos en la calificación de la viabilidad, teniendo como valor final, en este ejemplo, una viabilidad media de 0,81. A partir de un estándar inicial establecido por el departamento de ventas, el valor mínimo de viabilidad que debe tener un artículo para ser considerado para su venta en envase debe ser de al menos 0,80. Este es el primer alcance y, a través de un estudio continuo, poder analizar el comportamiento de la venta, comprobando que no se ve afectada negativamente. Así, se han obtenido un total de 513 productos con una viabilidad mayor o igual al 80%. Esto representa un primer paso para la reducción progresiva de los tiempos y actividades consideradas como residuos que están inmersos en el proceso del centro de distribución.

Tabla 8 Ejemplo de aplicación de la ecuación en las ventas del disco de corte

#	CANTIDAD DE VENTA	VIABILIDAD
1	8u	0,32
2	23u	0,92
3	25u	1,00
4	35u	0,70
5	48u	1,00
6	110u	0,9

4.4. Evaluación y Monitoreo

Los resultados mostrarán que la implementación de métodos de trabajo estandarizados, enfocados a agilizar la operación dentro de un sistema de alto flujo, tendrá un impacto relevante a corto y largo plazo, beneficiando tanto a los clientes internos como externos y a los intereses de la empresa. Es importante destacar que el objetivo del estudio es mejorar el desempeño de las tareas, optimizando los tiempos de acción al reducir las deficiencias dentro del proceso,

eliminando así las debilidades para fortalecer las capacidades competitivas a nivel de mercado para la empresa (Nudurupati, S. 2017).

En cuanto a la reubicación de productos, se reubicaron un total de 70 SKUs según la ruta TSP obtenida, siendo los de mejor rotación dentro del periodo analizado, representando un máximo del 15,92% de la frecuencia acumulada entre todos los productos. El periodo de evaluación corresponde del 11 de octubre de 2021 al 12 de noviembre de 2021 (25 días hábiles). En el periodo se generaron un total de 10.875, de los cuales 4.530 (41,65%) influyeron con la reubicación de los 70 productos con mayor frecuencia de rotación.

El rendimiento global de la aplicación se evaluó según tres parámetros. En primer lugar, se comparó la distancia media en la que incurrió el operario al rellenar las facturas influenciadas, frente a la distancia que habría tenido que recorrer si no se hubieran reubicado los artículos. Así, se concluyó que, de media, se produjo una disminución de 15 m de recorrido por factura, lo que supone una mejora del 7,57%, afectando directamente a la distancia media total recorrida por el operario a lo largo de la jornada, que disminuyó un 3,03%. Asimismo, la jornada media diaria se redujo de 9,53h a 9,12h, es decir, un 4,22%.

Aunque con la implantación parcial realizada no se obtiene un beneficio representativo, al colocar los productos de forma progresiva se espera conseguir la disminución porcentual según el ABC como se muestra en la Tabla 9, teniendo una disminución general a largo plazo del 40,13%.

Tabla 9 Mejora esperada según la reasignación ABC

ABC	SKU'S RESTANTES	% MEJORA ESPERADA
AA	34	2,34%
A	676	18,86%
B	679	8,69%
C	1297	7,24%
D	4271	3%

Por otro lado, analizando la implementación de las ventas de paquetes evaluados desde el 25 de octubre de 2021 hasta el 12 de noviembre de 2021 (15 días hábiles), se considero un escenario diferente. No se incluyeron para la evaluación los productos con mejor calificación, sino 22 productos con calificación de factibilidad variable entre el 80% y el 99%, con el objetivo de verificar el comportamiento de las ventas de cada uno de ellos, analizando al mismo tiempo la diferencia de tiempo entre el antes y el después. Así, se obtuvieron los resultados descritos en la Tabla 10.

Tabla 10 Resultados de la aplicación de la viabilidad por SKU

SKU	UND. POR PAQUETE	% VIABILIDAD	\$ VALOR DE VENTA		TIEMPO PROM. DE RECOLECCIÓN POR UNIDAD		UND. VENDIDAS	TIEMPO GANADO	% MEJORA
			ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS			
L181015	12 u	96%	\$6.432,14	\$12.030,67	1,01s	0,36s	6444 u	70 min	63,86%
S181437	12 u	95%	\$397,52	\$542,48	2,50s	1,02s	372 u	9 min	59,20%
...
T100240	2 hdr	88%	\$16,02	\$33,57	236s	4s	6 hdr	23 min	98,30%
A130156	6 u	85%	\$1.355,87	\$1.192,15	2,70s	1,4s	672 u	15 min	48,14%
C101560	10 u	81%	\$2.254,85	\$834,59	1,58s	0,68s	2140 u	32 min	56,96%

Analizando de forma macro, el porcentaje de mejora en los tiempos de recogida de productos se acerca al 57%, optimizando significativamente los tiempos de operación. Además, productos como los clavos o los tornillos se ven mucho más beneficiados con esta implantación que con el resto, ya que la venta se limitaba a centenas, teniendo que contar uno a uno hasta llegar a las cien unidades para poder enviar al cliente. Así, con el código "T100240" con sólo 3 cajas vendidas en el periodo evaluado, se produjo un ahorro de 23 minutos, que, al generalizarse a todos los artículos de similares características, los tiempos de recogida de estos productos disminuirían en casi un 99%. Sin embargo, las ventas de ciertos productos se vieron afectadas, como podemos ver en el antes y el después de los dos últimos registros de la Tabla

8. Así, pudimos determinar que el factor de influencia era el porcentaje de viabilidad, ya que estos artículos están por debajo del 85%. Cuanto más bajo sea el porcentaje, mayor será la pérdida de ventas.

Para implementar progresivamente las ventas por paquete, se redimensionó la base de aceptación en términos del porcentaje de viabilidad, estableciendo así el 90%, donde se incluyen 169 SKUs adicionales para su implementación, sin descuidar el análisis de las ventas mensuales de cada artículo para evitar futuras pérdidas.

5. CONCLUSIONES & LIMITACIONES

El contexto de este artículo fue planteado en un sector económico altamente competitivo en Ecuador, en una empresa de distribución de productos ferreteros y de construcción ubicada entre las mejores de su segmento, donde las funciones operativas internas se vuelven cruciales para destacarse en el mercado, agregando cada vez más valor al cliente final.

Este estudio presenta una metodología que rastrea desde la causa raíz del problema en cuanto a fallas en la gestión de las operaciones, con la ayuda del uso de diferentes herramientas enfocadas a la identificación y eliminación de desperdicios que ayudaron sustancialmente al desarrollo del proyecto, con el fin de determinar de manera óptima aquellas implementaciones a realizar para optimizar las actividades críticas dentro del proceso. De esta manera, se delimitó el problema identificando el cuello de botella dentro de la operación y asignando las posibles causas con base en el conocimiento de los coordinadores de cada área involucrada en la operación diaria. Así, el enfoque del estudio fue optimizar la operación en términos de distancias y tiempos incurridos en la operación.

En este contexto, se plantearon mejoras en cuanto a la disminución de las distancias medias de desplazamiento a partir de estudios de métodos de enrutamiento óptimos mediante

algoritmos de búsqueda exhaustiva y de agrupación de productos a partir de una asignación por prioridades. A la hora de definir estas acciones estratégicas, se reubicaron los productos en función de su frecuencia de salida, priorizando aquellos con alta demanda cerca de la zona de embalaje y envío de pedidos. El proceso ha conseguido una disminución directa de las distancias medias de recorrido de los pedidos generados, reduciéndolas en un 7,57%, y al completar los productos restantes, se espera conseguir una reducción media de recorrido de aproximadamente un 40,13% por pedido. Adicionalmente, se reducen los costes de horas extras a nivel operativo ya que, al existir una mayor agilidad en la recolección de pedidos, los operarios realizan su trabajo reduciendo las distancias y los tiempos de actuación, alcanzando una disminución de 0,41 horas de la jornada laboral. Además, diferentes empresas pueden realizar un análisis similar adaptado a su situación modificando las prioridades de ruta y su método de clasificación ABC, priorizando la cantidad o los costes en lugar de la frecuencia de salida, o realizando un estudio multicriterio que considere múltiples variables significativas.

En cuanto a la mejora directa de la recolección por producto, mediante un análisis de viabilidad según el histórico de ventas, las mejoras individuales en la recolección adquieren relevancia en la operativa diaria, optimizando un 57% en los tiempos que afectan actualmente a la mayoría de los productos, aumentando indirectamente el nivel de servicio que la empresa ofrece a sus clientes al enviar el producto limpio y con su embalaje original, sin maltrato por manipulación interna, por lo que el producto en la percha queda desorganizado y con posible pérdida en el inventario.

En cuanto a limitaciones en el desarrollo de la metodología, se encontró la falta de estandarización en el ingreso de información en un sistema ERP interno que manejan actualmente, lo que dificulta un análisis rápido y ágil debido a esta limitación. Otra limitación se encontró a nivel estructural, ya que por cuestiones normativas locales algunos accesos entre almacenes se encuentran bloqueados, teniendo que incurrir en rutas inaccesibles al tomar rutas

alternas, así como la encontrada por la rampa de conexión entre almacenes, lo que hace que la circulación constante en ese punto sea peligrosa y restrictiva.

Para futuros estudios e investigaciones, se sugiere determinar acciones para eliminar el desperdicio utilizando una metodología Lean 5S, como la estandarización de los trabajos, la delimitación de sectores para cada objeto, el orden en los procesos, para encontrar la forma adecuada de reducir aquellos obstáculos que provocan pequeñas paradas en la operación. De igual manera, se debe establecer la estandarización de los métodos de trabajo estándar para que la curva de aprendizaje de cada nuevo operario sea en el menor tiempo posible, y para que la brecha entre los rendimientos tenga una variación mínima y la operación tenga una armonía en la que cada operario se desempeñe de manera muy similar.

6. REFERENCIAS

- Banco Central del Ecuador (2020). Información Estadística Mensual No. 2034 - Agosto 2021, Sección 4.3.2. Available: <https://contenido.bce.fin.ec/home1/estadisticas/bolmensual/IEMensual.jsp>
- Boysen, N., de Koster, R., & Weidinger, F. (2019). Warehousing in the e-commerce era: A survey. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 277, Issue 2, pp. 396–411). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.023>
- Çelik, M., & Süral, H. (2019). Order picking in parallel-aisle warehouses with multiple blocks: complexity and a graph theory-based heuristic. *International Journal of Production Research*, 57(3). <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1489154>
- Chen, C.-M., Gong, Y., de Koster, R. B. M., & van Nunen, J. A. E. E. (2010). A Flexible Evaluative Framework for Order Picking Systems. *Production and Operations Management*, 19(1).
- Cook, W. J., Applegate, D. L., Bixby, R. E., & Chvátal, V. (2011). *The Traveling Salesman Problem*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400841103>
- De, A., Pratap, S., Kumar, A., & Tiwari, M. K. (2020). A hybrid dynamic berth allocation planning problem with fuel costs considerations for container terminal port using chemical reaction optimization approach. *Annals of Operations Research*, 290(1–2).
- Glock, C. H., Grosse, E. H., Elbert, R. M., & Franzke, T. (2017). Maverick picking: the impact of modifications in work schedules on manual order picking processes. *International Journal of Production Research*, 55(21). <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1252862>
- Jana, P. (2021). Lean supply chain management. In *Lean Tools in Apparel Manufacturing*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819426-3.00015-1>
- Keung, K. L., Lee, C. K. M., & Ji, P. (2021). Data-driven order correlation pattern and storage location assignment in robotic mobile fulfillment and process automation system. *Advanced Engineering Informatics*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101369>
- Kofler, M., Beham, A., Wagner, S., & Affenzeller, M. (2014). *Affinity Based Slotting in Warehouses with Dynamic Order Patterns*.
- Kuo, S. Y., & Lin, P. C. (2020). Determinants of green performance in container terminal operations: A lean management. *Journal of Cleaner Production*, 275.
- Lototsky, V., Sabitov, R., Smirnova, G., Sirazetdinov, B., Elizarova, N., & Sabitov, S. (2019). Model of the automated warehouse management and forecasting system in the conditions of transition to industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 78–82. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.137>

- Mirzaei, M., Zaerpour, N., & de Koster, R. (2021). The impact of integrated cluster-based storage allocation on parts-to-picker warehouse performance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102207>
- Montgomery, D. (2013). *Design and Analysis of Experiments* (John Wiley & Sons, Ed.; 8th ed.).
- Musarat, M. A., Alaloul, W. S., Liew, M. S., Maqsoom, A., & Qureshi, A. H. (2020). Investigating the impact of inflation on building materials prices in construction industry. *Journal of Building Engineering*, 32.
- Niebel, B. Freivalds, A. (2009). *Methods Standards and Work Design* (McGraw-Hill, Ed.; 12th ed.)
- Nudurupati, S. S., Bititci, U. S., Kumar, V., & Chan, F. T. S. (2011). State of the art literature review on performance measurement. *Computers & Industrial Engineering*, 60(2). <https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.11.010>
- Petersen, C. G., Siu, C., & Heiser, D. R. (2005). Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(10). <https://doi.org/10.1108/01443570510619491>
- Popoola, S. I., Atayero, A. A., Faruk, N., & Badejo, J. A. (2018). Data on the key performance indicators for quality of service of GSM networks in Nigeria. *Data in Brief*, 16, 914–928. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.12.005>
- Ratliff, H. D., & Rosenthal, A. S. (1983). Order-Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem. *Operations Research*, 31(3). <https://doi.org/10.1287/opre.31.3.507>
- Rego, C., Gamboa, D., Glover, F., & Osterman, C. (2011). Traveling salesman problem heuristics: Leading methods, implementations and latest advances. *European Journal of Operational Research*, 211(3), 427–441. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.09.010>
- Reyes, J. J. R., Solano-Charris, E. L., & Montoya-Torres, J. R. (2019). The storage location assignment problem: A literature review. *International Journal of Industrial Engineering Computations*. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2018.8.001>
- Rushton, A. Croucher, P. Baker, P. (2006) *The handbook of logistics and distribution management*, 3rd ed. Kogan Page.
- Scholz, A., Henn, S., Stuhlmann, M., & Wäscher, G. (2016). A new mathematical programming formulation for the Single-Picker Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 68–84. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.02.018>
- Silva, A., Coelho, L. C., Darvish, M., & Renaud, J. (2020). Integrating storage location and order picking problems in warehouse planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102003>

- SRI (2021). Estadísticas. Available: <https://www.sri.gob.ec/estadisticas-sri>
- Theys, C., Bräysy, O., Dullaert, W., & Raa, B. (2010). Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses. *European Journal of Operational Research*, 200(3). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.036>
- Torabizadeh, M., Yusof, N. M., Ma'aram, A., & Shaharoun, A. M. (2020). Identifying sustainable warehouse management system indicators and proposing new weighting method. *Journal of Cleaner Production*, 248.
- Yang, P., Zhao, Z., & Guo, H. (2020). Order batch picking optimization under different storage scenarios for e-commerce warehouses. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101897>
- Wang, M., Zhang, R. Q., & Fan, K. (2020). Improving order-picking operation through efficient storage location assignment: A new approach. *Computers and Industrial Engineering*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106186>
- Weiss, M. (2012). *Data structure and algorithm analysis in java* (Pearson Ed.; 3rd ed.).
- Zhang, L., Zhang, Q., Fan, H., Wu, H., & Xu, C. (2021). Big-M based MILP method for SCUC considering allowable wind power output interval and its adjustable conservativeness. *Global Energy Interconnection*, 4, 193–203. <https://doi.org/10.14171/j.2096-5117.gei.2021.02.008>
- Zhong, S., Giannikas, V., Merino, J., McFarlane, D., Cheng, J., & Shao, W. (2021). Evaluating the benefits of picking and packing planning integration in e-commerce warehouses. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.09.031>
- Zowid, F. M., Babai, M. Z., Douissa, M. R., & Ducq, Y. (2019). Multi-criteria inventory ABC classification using Gaussian Mixture Model. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1925–1930. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.484>