



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DEL ESTADO DE HIDALGO

Casos de estudio para la aplicación de herramientas en la logística interna

Tesis presentada en la Escuela Superior de Ciudad Sahagún ESCS
para obtener el título de
licenciado en Ingeniería Industrial

presenta

Oscar Enrique García Ramírez
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Director de tesis

Dr. Rafael Granillo Macías

Noviembre de 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Escuela Superior de Ciudad Sahagún

Higher Education School Ciudad Sahagún

Oficio N°-II/01/2020

M. en C. Julio César Leines Medécigo
Director de Administración Escolar
Presente

Por medio del presente le comunico que el alumno de la Licenciatura en Ingeniería Industrial **Oscar Enrique García Ramírez**, quien presenta el trabajo de TESIS "**CASOS DE ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS EN LA LOGÍSTICA INTERNA**", después de revisar el trabajo en reunión de sinodales se ha decidido autorizar la impresión de éste, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del jurado:

| | |
|------------------|-------------------------------------|
| PRESIDENTE | Dr. Isaías Simón Marmolejo |
| PRIMER VOCAL | Dr. Rafael Granillo Macías |
| SEGUNDO VOCAL | Dra. Francisca Santana Robles |
| SECRETARIO | Dr. Isidro Jesús González Hernández |
| PRIMER SUPLENTE | Ing. Ma. Rafaela Mohedano Juárez |
| SEGUNDO SUPLENTE | Ing. José Gustavo Balcázar García |

ATENTAMENTE
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

Cd. Sahagún, Hgo., 24 de noviembre de 2020

Dr. Isaías Simón Marmolejo
Coordinador de la Licenciatura en Ingeniería Industrial



Ccp Expediente



Carretera Cd. Sahagún-Otumba S/N
Zona Industrial
Cd. Sahagún, Hidalgo, México; C.P. 43998
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 5300, 5310
52 (791) 91 37088
essahagun@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

Dedicatoria

Para mi familia y amigos que siempre me apoyan y motivan.

Agradecimientos

Doy gracias al Dr. Rafael Granillo por su acompañamiento y enseñanza.

Agradezco a PRODEP por facilitar los recursos que hicieron posible este trabajo.

Índice general

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción | 9 |
| 1.1. Objetivos | 11 |
| 1.1.1. Objetivo general | 11 |
| 1.1.2. Objetivos específicos | 11 |
| 1.2. Justificación | 12 |
| 2. Logística | 15 |
| 2.1. Definición de logística | 15 |
| 2.2. Importancia de la logística | 16 |
| 2.2.1. Características | 17 |
| 2.2.2. Indicadores | 17 |
| 2.3. Logística interna | 18 |
| 2.3.1. Componentes y actividades | 18 |
| 2.3.2. Herramientas para la Gestión de Almacenes | 19 |
| 2.4. Logística externa | 20 |
| 2.4.1. Componentes y actividades | 20 |
| 2.4.2. Herramientas para la Gestión de la Logística Externa | 22 |
| 3. Caso de estudio - Logística interna con análisis ABC | 23 |
| 3.1. Introducción | 23 |
| 3.2. Metodología | 24 |
| 3.2.1. Descripción del almacén y mapeo de procesos | 24 |
| 3.2.2. Análisis ABC | 29 |
| 3.2.3. Localización del punto de recolección | 32 |
| 3.2.4. Rutas de recolección | 33 |
| 3.3. Resultados | 34 |
| 3.4. Discusiones | 35 |

| | |
|---|-----------|
| <i>ÍNDICE GENERAL</i> | <i>2</i> |
| 4. Caso de estudio - Distribución de almacén mediante análisis ABC | 36 |
| 4.1. Introducción | 36 |
| 4.2. Revisión de la literatura | 37 |
| 4.3. Metodología | 37 |
| 4.3.1. Diagrama SIPOC e identificación de procesos | 38 |
| 4.3.2. Clasificación ABC | 39 |
| 4.3.3. Distribución de materiales y layout | 40 |
| 4.4. Resultados y discusión | 41 |
| 4.4.1. Identificación y mapeo | 41 |
| 4.4.2. Trabajo futuro | 47 |
| 4.5. Discusiones | 48 |
| 5. Caso de estudio - Simulación de rutas validación de modelo | 49 |
| 5.1. Introducción | 49 |
| 5.2. Metodología | 50 |
| 5.2.1. Elaboración del modelo en FlexSim: Pasos y configuraciones | 51 |
| 5.3. Resultados | 54 |
| 5.4. Discusiones | 56 |
| 6. Conclusiones | 58 |
| I Anexos | 63 |
| A. Mapeo de procesos | 64 |
| A.1. Diagrama SIPOC por proveedor | 64 |
| B. Conformación de lotes aleatorios | 66 |
| B.1. SKU y clasificación ABC por cada lote | 66 |
| C. Simulaciones | 76 |
| C.1. Modelos en la distribución actual | 76 |
| C.2. Modelos en la distribución propuesta | 79 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| 2.1. Relevancia de las características de las partes con los elementos del sistema de logística. | 16 |
| 2.2. Clasificación de los elementos de la logística según el horizonte de planeación. | 21 |
| 3.1. Distribución actual de la empresa | 25 |
| 3.2. Mapeo de procesos | 26 |
| 3.3. Configuración 1 | 27 |
| 3.4. Configuración 2 | 28 |
| 3.5. Configuración 3 | 29 |
| 3.6. Depuración de la base de datos en Tableau Prep Builder | 30 |
| 3.7. Metodología para realizar un análisis ABC | 31 |
| 3.8. Representación del análisis ABC doble frecuencia de entrada y volumen | 32 |
| 3.9. Localización de punto óptimo para la distribución. | 33 |
| 3.10. Localización de punto óptimo para la distribución actual. | 35 |
| 4.1. Logística en el almacén. | 38 |
| 4.2. Diagrama SIPOC | 39 |
| 4.3. Procedimiento | 40 |
| 4.4. Layout actual | 41 |
| 4.5. ABC | 42 |
| 4.6. Gráfica del análisis ABC para la frecuencia de salida por SKU | 42 |
| 4.7. Gráfica del análisis ABC para el volumen por tarima por SKU | 43 |
| 4.8. Número de artículos con clasificación doble ABC por familia | 43 |
| 4.9. Jerarquía de familias de productos respecto a la clasificación ABC | 44 |
| 4.10. Número de artículos por clasificación ABC | 45 |
| 4.11. Análisis de resultados | 45 |
| 4.12. Elementos ABC recursivo por familia | 46 |

| | |
|---|----|
| 4.13. Distribución propuesta con base en análisis ABC recursivo | 47 |
| 5.1. Metodología empleada para la elaboración de la simulación | 50 |
| 5.2. Ejemplo de importación de plano DWG a FlexSim | 51 |
| 5.3. Configuración para elemento source FlexSim | 51 |
| 5.4. Configuración para elemento queue FlexSim | 52 |
| 5.5. Configuración elemento queue para asignación de color ABC por artículo FlexSim | 52 |
| 5.6. Configuración para elemento queue de FlexSim | 53 |
| 5.7. Ejemplo de distribución con las configuraciones presentadas | 53 |
| 5.8. Ejemplo de tablero en FlexSim | 54 |
| 5.9. Modelo lote 7 en distribución actual | 55 |
| 5.10. Modelo lote 7 en distribución propuesta | 55 |
| A.1. Mapeo de procesos 1 | 64 |
| A.2. Mapeo de procesos 2 | 65 |
| A.3. Mapeo de procesos 3 | 65 |
| C.1. Modelo lote 1 en distribución actual | 76 |
| C.2. Modelo lote 2 en distribución actual | 76 |
| C.3. Modelo lote 3 en distribución actual | 77 |
| C.4. Modelo lote 4 en distribución actual | 77 |
| C.5. Modelo lote 5 en distribución actual | 77 |
| C.6. Modelo lote 6 en distribución actual | 77 |
| C.7. Modelo lote 7 en distribución actual | 78 |
| C.8. Modelo lote 8 en distribución actual | 78 |
| C.9. Modelo lote 9 en distribución actual | 78 |
| C.10. Modelo lote 10 en distribución actual | 78 |
| C.11. Modelo lote 1 en distribución propuesta | 79 |
| C.12. Modelo lote 2 en distribución propuesta | 79 |
| C.13. Modelo lote 3 en distribución propuesta | 79 |
| C.14. Modelo lote 4 en distribución propuesta | 79 |
| C.15. Modelo lote 5 en distribución propuesta | 80 |
| C.16. Modelo lote 6 en distribución propuesta | 80 |
| C.17. Modelo lote 7 en distribución propuesta | 80 |

| | |
|--|----|
| C.18. Modelo lote 8 en distribución propuesta | 80 |
| C.19. Modelo lote 9 en distribución propuesta | 81 |
| C.20. Modelo lote 10 en distribución propuesta | 81 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| 3.1. Ponderaciones | 32 |
| 3.2. Parámetros usado en el algoritmo genético. | 34 |
| 3.3. Resultados. | 34 |
| 4.1. Resumen de clasificaciones ABC para la frecuencia de salida por SKU | 42 |
| 4.2. Resumen de clasificaciones ABC para el volumen por tarima por SKU | 43 |
| 5.1. Resultados de las simulaciones de 10 lotes en la distribución actual | 55 |
| 5.2. Resultados de las simulaciones de 10 lotes en la distribución propuesta | 56 |
| 5.3. Comparación entre los resultados de la distribución actual y la distribución propuesta | 56 |
| B.1. Elementos que conforman el lote aleatorio 1 | 66 |
| B.2. Elementos que conforman el lote aleatorio 2 | 67 |
| B.3. Elementos que conforman el lote aleatorio 3 | 68 |
| B.4. Elementos que conforman el lote aleatorio 4 | 69 |
| B.5. Elementos que conforman el lote aleatorio 5 | 70 |
| B.6. Elementos que conforman el lote aleatorio 6 | 71 |
| B.7. Elementos que conforman el lote aleatorio 7 | 72 |
| B.8. Elementos que conforman el lote aleatorio 8 | 73 |
| B.9. Elementos que conforman el lote aleatorio 9 | 74 |
| B.10. Elementos que conforman el lote aleatorio 10 | 75 |

Resumen

En este documento se presentan tres casos de estudio donde se aplican técnicas para la optimización de la logística interna de un almacén perteneciente a una empresa del sector alimentario. Se analiza la ubicación de los artículos en inventario mediante un algoritmo genético con modelo matemático, un análisis ABC recursivo y un modelo de simulación con el objetivo de proponer configuraciones de la distribución de almacén que disminuyan la distancia total de transporte al momento de procesar las órdenes. Los datos que se utilizaron para analizar los casos de estudio se obtuvieron de la base de datos del sistema SAP de la empresa, donde se consideraron los artículos con mayor frecuencia de entrada y salida, así como el volumen ocupado por tarima, según sea el caso. En el primer caso de estudio, se determina la ubicación óptima del punto de recolección con base a un lote de 20 artículos ubicados en la distribución actual del almacén, en el segundo caso, se presenta una configuración propuesta para la distribución física de los conjuntos de materiales tomando como prioridad a los elementos del conjunto A resultante del análisis ABC y en el tercer caso, se evalúa mediante un modelo de simulación desarrollado en el software FlexSim la reducción de la distancia total a recorrer cuando se preparan los pedidos en un contexto que represente la realidad del almacén. Finalmente, en cada caso planteado, se presenta una tabla con información cuantitativa a fin de resumir los resultados obtenidos y comparar el estado actual del almacén con las propuestas realizadas en cada estudio.

Palabras clave: Análisis ABC, distribución, simulación, almacén, logística.

Abstract

In this document, three case studies are presented where techniques are applied to optimize the internal logistics of a warehouse belonging to a company in the food sector. The location of the items in inventory is analyzed employing a genetic algorithm with a mathematical model, a recursive ABC analysis and a simulation model to propose configurations of the warehouse distribution that reduce the total transport distance when processing orders. The data used to analyze the case studies were obtained from the company's SAP system database, where the articles with the highest frequency of entry and exit were considered, as well as the volume occupied by pallet, as the case may be. In the first case study, the optimal location of the picking point is determined based on a batch of 20 items located in the current distribution of the warehouse, in the second case, a proposed configuration is presented for the physical distribution of the sets of materials taking as priority the elements of set A resulting from the ABC analysis and in the third case, the reduction of the total distance to travel when preparing the orders is evaluated using a simulation model developed in the FlexSim software in a context that represents the reality of the warehouse. Finally, in each case raised, a table with quantitative information is presented to summarize the results obtained and compare the current state of the warehouse with the proposals made in each study.

Keywords: ABC analysis, distribution, simulation, warehouse, logistics.

Capítulo 1

Introducción

En el contexto actual, las empresas se encuentran inmersas en un ambiente de alta competencia, donde surge la necesidad de desarrollar una visión estratégica que no solo satisfaga funciones básicas como el manejo de materiales y la distribución física, sino que se debe buscar una integración entre los canales de distribución externos e internos para así proveer a la empresa de agilidad y flexibilidad como una ventaja competitiva (Pinheiro de Lima et al., 2017).

La diferencia entre una compañía con las empresas que conforman la red en la que se integra, se basa en el enfoque logístico que implemente la empresa y la eficiencia del mismo. De manera general, Puentes (2014) postula que una empresa puede obtener ventajas competitivas si se aplica un enfoque que priorice la satisfacción del cliente de manera permanente, una correcta administración del flujo de materiales e información, junto con niveles de inventarios óptimos, autogestión, control y arduo trabajo en equipo.

Los costos por concepto de operaciones logísticas son importantes para la mayoría de las empresas manufactureras puesto que conforman del 50 al 60% del precio de venta en promedio, es por esto que el valor de la logística se encuentra al minimizar los costos y generar mayores beneficios para los clientes y los accionistas de la organización (Ballou, 2004).

Las actividades funcionales que componen la cadena de suministro y la logística son repetitivas, así mismo ayudan a transformar la materia prima en artículos terminados con valor añadido para el cliente (Ballou, 2004). Debido a que los proveedores, centros de manufactura y distribución no se encuentran centralizados, la logística se hace presente en las actividades que vinculan el flujo del canal del producto y hacen que un artículo llegue a su destino final.

La administración de la cadena de suministro se basa en el análisis de la interacción entre las actividades de marketing, logística y producción que tienen lugar en una empresa. Un ambiente coordinado donde los miembros colaboren y compartan información favorece el flujo del canal del producto, lo que resulta en reducción de costos y una mejora para la calidad de servicio al cliente (Ballou, 2004). El rendimiento general de la cadena de suministro se define por el contexto donde toman lugar sus actividades como la interacción entre personas, materiales, información y otros recursos (Amaya Leal and Vilorio Nuñez, 2014).

Bowersox et al. (2007) mencionan que la administración de la cadena de suministro surge cuando existe la colaboración entre empresas con un mismo posicionamiento para mejorar la forma en que operan, mientras más empresas se encuentren colaborando, más decisiones estratégicas habrá que tomarse sobre los procesos administrativos y sus áreas funcionales reconociendo las capacidades y limitaciones de las mismas empresas.

Partiendo de la premisa anterior, se identifica que la logística interactúa entre empresas cuando se analiza de manera externa a la organización como un elemento más de la cadena de suministro, sin embargo, las operaciones logísticas

en la empresa de manera interna deben ser igualmente analizadas, ya que la globalización ha evolucionado a las actividades económicas durante las últimas décadas de tal manera que se desarrolla un ambiente altamente competitivo entre industrias, generando así retos para los agentes que participan en el mercado, ya sea de manera individual o colaborativa, los cuales deben buscar estrategias para obtener ventajas competitivas, lo que los lleva a modificar su forma de operar, controlar el manejo de sus entradas y salidas para cada proceso, mejorar la calidad del producto así como evaluar la localización de sus recursos (Huang and Kim, 2019). Es importante reconocer que el mercado actual exige a los almacenes incrementar sus operaciones, albergar una cantidad mayor de productos y ser cada vez más capaces de satisfacer las necesidades del cliente para añadir valor tardando menos en procesar órdenes con un margen de error mínimo.

Existen factores externos sobre los cuales no se tiene control y por ello es vital diseñar una cadena de suministro resiliente que disminuya el riesgo de sufrir un impacto negativo debido a cambios no previstos, pero también se encuentran factores internos que se pueden administrar y optimizar para asegurar una cadena de suministro confiable, atendiendo a aquellos procesos en los que sí se tiene la capacidad de controlar su desempeño (Amaya Leal and Vilorio Nuñez, 2014). Chen (2019) menciona que las empresas deben desarrollar y mantener métodos capaces y hábiles para brindar el mejor servicio al cliente como una ventaja competitiva mediante la colaboración de forma integral con sus compañeros en la cadena de suministro y agilizando los procesos propios como son la administración, manufactura, logística y distribución.

Una filosofía que busque mejorar las operaciones logísticas internas y externas de la empresa tomando en cuenta los canales de distribución y estándares competentes de calidad total para el producto y proceso, apoyará al cumplimiento de los objetivos empresariales puesto que está preparada para ofrecer un producto de calidad a sus clientes así como soportar requerimientos exigentes con mayor flexibilidad (Martínez and Kadi, 2018).

Considerando el reto que supone optimizar de manera adecuada la logística interna de almacén, a lo largo de este documento, se propone el uso de diferentes técnicas como mapeo de procesos, análisis ABC recursivo, uso de algoritmo genético y modelos de simulación para determinar la configuración adecuada de distribución de planta con base al punto de recolección y la ruta de viaje cuando se procesan órdenes.

El objetivo es presentar una propuesta de distribución física para el almacén de una empresa del sector alimentario mediante la técnica de análisis ABC recursivo sobre los conjuntos de materiales distribuidos en el área, con el propósito de determinar la configuración óptima que reduzca la distancia a recorrer por el sistema de manejo de materiales cuando se procesan las órdenes de los clientes.

La hipótesis de este trabajo fue que mediante diferentes herramientas de análisis es posible seleccionar una política de almacenamiento y rutas de recolección óptimas para mejorar el desempeño logístico de una empresa.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Presentar una propuesta de distribución para el almacén de una empresa del sector alimentario mediante la técnica de análisis ABC recursivo sobre los conjuntos de materiales, con el propósito de determinar la configuración que reduzca la distancia a recorrer por el sistema de manejo de materiales durante el procesamiento de órdenes.

1.1.2. Objetivos específicos

1. Analizar las técnicas y herramientas disponibles para la optimización de la logística interna de las empresas del sector manufacturero.
2. Generar una base de datos que represente el estado del almacén.
3. Realizar un análisis ABC recursivo para identificar los artículos relevantes.
4. Modelar la distribución actual del almacén y comparar ante propuestas de mejora.
5. Evaluar al análisis ABC como una herramienta funcional mediante la comparación de indicadores.

1.2. Justificación

La administración logística ayuda a mejorar la efectividad del sistema productivo, ya que se concentra en las actividades con mayor impacto en el tiempo para obtener los productos y en aquellas que definen el nivel de servicio para el consumidor, siendo de utilidad para la industria manufacturera donde se utilizan almacenes industriales que deben responder a las necesidades de los mayoristas y minoristas buscando reducir los costos que se generan por transportar y por distribuir los inventarios donde sean requeridos (Riveros and Silva, 2008).

Tejero (2008) describe al almacén como la instalación que tiene el propósito de albergar y distribuir elementos como materias primas, productos semiterminados y terminados con el objetivo de producir artículos o comercializarlos según la logística de distribución.

Una empresa con un almacén que tiene una capacidad de respuesta acelerada ante las peticiones de sus clientes, podrá atender rápidamente las solicitudes, generar valor y ganar mercado de la competencia, es por esto que los almacenes conforman un elemento importante a lo largo de la cadena de suministro, ya que éstos interactúan en la administración mediante los procesos logísticos apoyando a que la empresa pueda aumentar su competitividad y que obtenga mayores beneficios debido a que permiten la disponibilidad del producto correcto en el momento que se necesita y en el lugar donde se requiere (Blanco and Ramírez, 2009). Tejero (2008) argumenta que los almacenes y su correcta administración deben satisfacer el grado de servicio deseado por el cliente, de manera rápida, fiable y de calidad a un nivel de costo aceptable.

Blanco and Ramírez (2009) mencionan que las principales actividades de un almacén son:

- Recepción de mercancía
- Reempaque (aplica cuando el empaque de proveedor no se ajusta a las especificaciones del almacén)
- Colocación de materiales
- Depósito de materiales
- Procesamiento de órdenes
- Empaque-etiquetado
- Envío de pedidos

Las funciones internas del almacén impactan directamente en el nivel de servicio para el cliente, ya que el almacén tiene la función principal de controlar y mantener las existencias de productos así como cuidar su valor evitando pérdidas, desgaste o daños, lo que permite afrontar la variación en los requerimientos de la demanda y tener disponibilidad de los artículos solicitados para procesar órdenes con mayor rapidez (Blanco and Ramírez, 2009).

Una situación común que surge durante la administración de almacenes es el Problema de Asignación de Ubicación de Almacenamiento (SLAP, por sus siglas en inglés), mismo que involucra la determinación de la ubicación de los artículos a almacenar, de tal manera que los sitios de disposición maximicen la eficiencia de la recolección de materiales durante el procesamiento de órdenes (Zhang et al., 2019).

El procesamiento de órdenes o preparación de pedidos es el proceso mediante el cual se recolectan, en un solo recorrido, artículos desde sus ubicaciones de almacenamiento para satisfacer las necesidades del solicitante, mismo que puede ser un cliente interno, como un proceso de producción subsecuente, o un cliente externo a la empresa, como un

colaborador de la cadena de suministro (Kofler, 2015). La preparación de pedidos es una tarea compleja en los sistemas manuales y cara de implementar en los almacenes con sistemas automatizados (Kofler, 2015).

De las actividades que surgen en un almacén, Tompkins et al. (2010) estiman que la recolección de artículos representa el 55 % de todos los gastos, en seguida se encuentra el envío con un 20 %, almacenamiento con 15 % y recibimiento de materiales con un 10 %.

Para el tiempo empleado durante la recolección de artículos, el transporte ocupa un 50 %, la búsqueda 20 %, la selección 15 %, preparación 10 % y otras actividades 5 %, por lo que los métodos de optimización basan sus análisis en el recorrido o ruta de recolección que tiene impacto en el tiempo total para preparar los pedidos (Tompkins et al., 2010).

Para mejorar el rendimiento del procesamiento de órdenes, se puede estudiar la ejecución desde las siguientes perspectivas:

- Asignar los artículos a ubicaciones óptimas (estrategia de almacenamiento)
- Determinar una ruta de recolección apropiada (ruteo)
- Procesar las órdenes en lotes (agrupación)

La estrategia de almacenamiento es la base del ruteo y la agrupación, ya que ésta brinda la información sobre las ubicaciones de los materiales para su posterior análisis (Zhang et al., 2019).

El método de agrupación o slotting, es una herramienta utilizada para analizar las propiedades de los artículos y agruparlos según sus características, posteriormente se vincula cada producto o grupo en inventario a una ubicación óptima del almacén mediante información e indicadores que permitan tomar decisiones con base a prioridades, por ejemplo, los materiales con mayor envíos por periodo, popularidad, volumetría o frecuencia de solicitud (Petersen et al., 2005). Ishizaka et al. (2018) menciona que incluso en las empresas de tamaño moderado existe una gran cantidad de existencias en el inventario y debido a esto se requiere priorizar sólo aquellas consideradas necesarias.

Los sistemas de clasificación de inventario ABC son una herramienta para la agrupación de artículos que tiene como medio la organización y administración de inventarios conformados de una alta cantidad de artículos distintos, conocidos como mantenimiento de existencias (Teunter et al., 2009). El propósito de la clasificación ABC es simplificar la gestión del inventario a través de determinar los niveles de control de existencias asociados con cada clase. En general, el análisis ABC agrupa los artículos en tres categorías cuya base teórica se basa en gran medida en el principio de Pareto (Li et al., 2019):

- A** Grupo de los elementos muy importantes
- B** Grupo de los elementos moderadamente importantes
- C** Grupo de los elementos poco importantes

La interpretación del análisis ABC se enfoca en lo relativamente pequeño según la cantidad de productos que representan una parte importante del criterio analizado (es decir, los productos A), lo que contribuye a obtener reducciones relativamente grandes en los costos de inventario (van Kampen et al., 2012), además Li et al. (2019) mencionan que en la administración de inventarios, el análisis ABC es una técnica de clasificación efectiva para desarrollar un mecanismo que identifique unidades en almacenamiento de existencias que no solo tengan impacto significativo en el costo total del inventario, sino también requieren diferentes esquemas y controles de administración expandiendo su alcance a otros criterios que sean de interés para las organizaciones.

Ernst and Cohen (1990) explican que en un inventario que contiene muchas unidades en existencia, no es factible considerar sus elementos como unidades individuales y deben ser agrupados con base en una clasificación que permita el desarrollo de políticas y la aplicación de estrategias de control. En situaciones prácticas, se recomienda determinar para los artículos en inventario, un número óptimo de agrupaciones de acuerdo a sus características empleando un enfoque a técnicas de ingeniería que permitan la toma de decisiones de acuerdo a la estrategia de producción, la administración de inventarios y el servicio al cliente considerando la clase de artículos en lugar de cada artículo por separado (van Kampen et al., 2012).

Ishizaka et al. (2018) argumentan que la clasificación de los artículos en inventario aplicando el análisis ABC de un solo criterio es ampliamente utilizada en las empresas debido a que este método es fácil de entender y usar, sin embargo, Mehdizadeh (2020) postula que, aunque el análisis ABC de un solo criterio es usado en investigación, su aplicación en empresas es menor que el análisis ABC multicriterio. Clasificar un artículo tomando en cuenta sólo una característica no puede representar la importancia total de ese artículo, dependiendo de qué tipo de organización se trate, el criterio puede cambiar con base a elementos obsoletos, prioridad entrega, fragilidad, valor relativo, etc. Así mismo, Chu and Chu (1987) explican que la elección de las características de clasificación se puede determinar de acuerdo con el porcentaje de artículos o basado en el porcentaje acumulativo de valor de uso anual, por lo tanto, es arbitrario y se basa en la naturaleza del negocio, el juicio y la experiencia del analista y la causa de las acciones que pueden ser tomadas.

Considerando los argumentos expuestos por diversos autores con anterioridad sobre el impacto en costos y tiempo de la actividad de procesamiento de órdenes, así como la necesidad de priorizar los artículos en inventario con el objetivo de crear políticas de almacenamiento que atiendan a aquellos que representan a los materiales que son pocos pero relevantes, el aporte de este documento se fundamenta en la aplicación de las estrategias de almacenamiento, ruteo y agrupación, lo que reduce las distancias de traslado mejorando la capacidad del almacén para responder a los pedidos solicitados por el cliente, lo que genera valor y aumenta el nivel de servicio ofrecido como ventaja competitiva ya que dentro de este almacén existe el problema en cuanto al alistamiento de pedidos de los diversos materiales a causa de la inexistencia de una secuencia de recolección, lo que causa retrasos, tiempo ocioso y aumento del costo logístico.

Capítulo 2

Logística

2.1. Definición de logística

La logística se conforma de los esfuerzos necesarios para mover y colocar los artículos en inventario a lo largo de la cadena de suministro. Se integra con actividades como la administración de pedidos, los inventarios y el almacenamiento para mantener la continuidad, vinculación y sincronización de la cadena de suministro (Bowersox et al., 2007).

La logística, en esencia, se encarga de almacenar, mover y distribuir materiales, cuando a éstas funciones básicas se añade un modelo que tenga como objetivo la minimización de los tiempos de entrega, reducir las distancias recorridas y el alojamiento de cantidades óptimas en stock es cuando surge la logística integral (Puentes, 2014).

Ballou (2004) menciona que la logística de los negocios es un tema novedoso para el mando gerencial en comparación a otros aspectos administrativos como las finanzas y la producción a pesar de que la logística en sí misma se ha practicado durante mucho tiempo en operaciones de transporte y almacenamiento. La logística de los negocios se diferencia del concepto simple de logística debido a su enfoque coordinado de dirección y relación entre las actividades para manejarlas de una manera integral manteniendo el valor añadido a la satisfacción del cliente de la logística común.

Ballou (2004) organiza los elementos de un sistema logístico considerando su posición en la cadena de suministros y como resultado obtiene actividades clave y de apoyo. Las operaciones de apoyo contribuyen al cumplimiento de la misión logística, perteneciendo a éstas las actividades de almacenamiento tales como:

1. Determinación de espacios.
2. Distribución.
3. Configuración del almacén.
4. Colocación de existencias.

Para administrar el inventario de una compañía, Huiskonen (2001) menciona que existe la necesidad de realizar una categorización de artículos específica para generar distintos requerimientos de control, mismos que tienen un efecto en las características del sistema de logística. Los elementos que integran un sistema de logística son: (1) Estructura de la red de inventario en la cadena de suministro, (2) Posicionamiento de materiales en la red, (3) Responsabilidad del control del sistema y (4) Políticas para el control del flujo de materiales.

En la Figura 2.1 se muestra como Huiskonen (2001) argumenta que las características de los artículos se relacionan con los elementos del sistema de logística en una configuración de políticas para operar con base al control de las características de acuerdo a su nivel de importancia, especificidad, patrones de demanda y valor de los artículos.

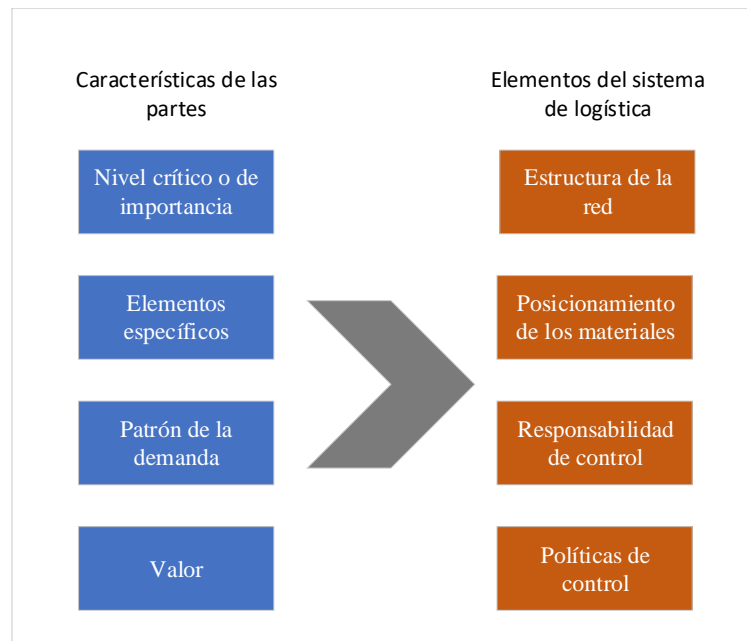


Figura 2.1: Relevancia de las características de las partes con los elementos del sistema de logística.

El procesamiento de los pedidos es clasificado como una actividad clave de aspecto final, misma que tiene gran impacto en el tiempo total necesario para que un consumidor obtenga el producto o servicio que ha solicitado siendo también la responsable de iniciar el movimiento de los bienes y prestación de los servicios (Ballou, 2004).

2.2. Importancia de la logística

La importancia de la logística radica en el valor que se genera tanto para el proveedor como para el consumidor en términos de tiempo y lugar, basándose en la premisa de que los artículos o servicios no tienen valor si no se encuentran dónde y cuándo se necesitan (Ballou, 2004).

Bowersox et al. (2007) mencionan que el objetivo de la logística es apoyar a satisfacer los requerimientos de adquisiciones, fabricación y entrega al consumidor mediante una operación integral enfocada a satisfacer a los clientes de manera que se vinculen operaciones externas e internas. Así mismo, la logística se encarga de administrar los sistemas de inventarios para materias primas, material en proceso y productos terminados buscando el costo total mínimo.

Chopra and Peter (2008) añade que los costos totales de la logística son el resultado de la adición de los costos por concepto de inventarios, transporte e instalaciones que apoyan a la cadena de suministro. Con relación a las instalaciones, los costos pueden cambiar dependiendo del número de éstas, sus ubicaciones y las capacidades de cada una, de la misma manera, se deben tomar en cuenta los procesos que tienen lugar de manera interna en cada instalación considerando factores característicos del material a transformar como el peso o volumen.

Aunque las funciones logísticas de una empresa representan gastos considerables, Bowersox et al. (2007) afirma que su importancia empresarial no debe basarse en la reducción de costos, sino en conseguir una ventaja competitiva a

través de mejorar la capacidad para proporcionar una calidad de servicio superior en comparación a otras empresas en un ambiente favorable para la colaboración entre clientes y proveedores.

2.2.1. Características

Arada (2019) menciona que el flujo de bienes y productos que tiene lugar en los canales de distribución física se encuentra segmentado en varias etapas que operan de forma individual cumpliendo el propósito de mover los materiales de donde se manufacturan a donde se consumen, dando lugar a actividades como:

- Almacenamiento
- Manejo de materiales
- Embalaje y empaquetado
- Inventario de los productos terminados
- Planeación de la distribución
- Procesamiento de órdenes
- Transporte
- Servicio al cliente

En la actualidad existe el interés por parte de los comerciantes de estudiar también el flujo de materiales desde el proveedor hasta las fábricas, incluyendo:

- Pronósticos de la demanda
- Compras
- Planeación de los requerimientos
- Planeación de la producción
- Inventarios de manufactura

2.2.2. Indicadores

El nivel de desempeño logístico de una empresa está relacionado al nivel de servicio con que un cliente es atendido, por ello es importante mantener un desempeño logístico libre de errores en términos de: (1) disponibilidad, (2) desempeño operativo y (3) confiabilidad del servicio (Bowersox et al., 2007).

Disponibilidad Es tener en inventario la cantidad de materiales o artículos que el cliente requiera. El surgimiento de nuevas tecnologías brinda flexibilidad para mantener niveles de inventario óptimos que no repercutan de manera significativa en la inversión de capital necesaria para mantener inventarios.

Desempeño Es el tiempo de respuesta en que se entrega un pedido al consumidor, mismo que debe ser rápido y regular, este tiempo puede verse afectado por la inconsistencia de pedidos, por lo que las empresas deben ser flexibles en atender pedidos singulares e inesperados de los clientes en distintos niveles de frecuencias.

Confiabilidad Mide la capacidad de la disponibilidad y el desempeño operativo para responder a los niveles de calidad de servicio esperados. Para realizar mejoras en el desempeño del servicio se requiere establecer objetivos selectivos y priorizarlos debido a que algunos productos tienen mayor importancia que otros y contribuyen de manera distinta en los ingresos.

2.3. Logística interna

El Instituto de Carreras e Innovación en Logística y Cadena de Suministro ICIL (2016) explica que la logística interna se caracteriza por:

- Tener la capacidad de conocer, entender y satisfacer las necesidades de almacenamiento y transporte interno de la empresa.
- Ser proporcional, es decir, cuanto más complejo sea el tratamiento de la cadena de suministro, más recursos serán demandados como dinero, tiempo, personal y capacitación del mismo.
- Responder a los cambios en la demanda donde se requiera satisfacer picos debido al crecimiento de volumen atendido por la compañía haciendo uso de mayores cargas de trabajo y espacio en instalaciones.
- Impactar en los precios y calidad de servicio para el cliente por lo que necesita ser comparada ante expresas de logística externas y determinar una configuración adecuada.

Si la empresa cuenta con un sistema de logística interna eficiente se favorece la colaboración entre los departamentos a través del flujo de información para conceptualizar mejor las necesidades y realizar mejoras a favor del ahorro de dinero, optimización de procesos y reducción de fallos.

2.3.1. Componentes y actividades

La logística interna se compone por un sistema que se encarga de apoyar a la producción de las empresas de manufactura mediante el desarrollo de actividades de almacenamiento y movimiento de materias primas, productos semi-terminados, productos terminados y refacciones con el objetivo de mantener un flujo interno de materiales óptimo de manera económica (Pinheiro de Lima et al., 2017). La logística interna es responsable de actividades como:

- Recibimiento
- Traslado
- Recolección, empacado y embalaje
- Almacenaje
- Administración de stocks
- Abastecimiento
- Planificación y Control de Materiales (PCM)
- Planificación y Control de la Producción (PCP)

- Material de trabajo en proceso (WIP)
- Procesamiento de pedidos

Granlund and Wiktorsson (2014) mencionan que las operaciones de logística interna conforman una parte esencial del sistema encargado de mantener un funcionamiento general de la empresa y hacer que se mantenga en el negocio. La logística interna es la responsable de proveer la materia prima requerida para poder añadirle valor, por lo que una falla o interrupción del flujo de materiales podría resultar en costos significativos y un alto impacto en el óptimo funcionamiento del sistema de logística interna.

2.3.2. Herramientas para la Gestión de Almacenes

Sistema de Gestión de Almacenes (SGA)

Su función primaria es proveer de un sistema para controlar el almacén desde una base de datos donde se recopile información de utilidad para la toma de decisiones diaria, así como asegurar un registro de información eficiente con una interfaz para administrar los procesos, recurso humano y equipo en un nivel operacional (Ramma et al., 2012). Existen tres niveles para desarrollar un Sistema de Gestión de Almacenes:

- Básico: Es ideal para ayudar a administrar los inventarios y la localización de stocks mediante instrucciones para almacenar y procesar órdenes de una manera simple y un enfoque que busque optimizar el flujo de materiales.
- Avanzado: Además de proveer al usuario de las facilidades del nivel básico, se agrega la planeación de recursos y actividades para sincronizar el flujo de materiales así como realizar el análisis de capacidad.
- Complejo: Es de utilidad para la planeación de la logística y la optimización de las operaciones ya que se enfoca a la gestión entre almacenes, permitiendo que la información de cada producto se encuentre disponible para conocer su ubicación y destino, así como datos relevantes como el valor del artículo, cantidades y dimensiones.

Generación de ambientes virtuales o digitalización

El rol de la logística interna dentro del ámbito de la Industria 4.0 mantiene su concepto clásico reconociendo que existe un potencial tecnológico que deber ser aprovechado para obtener nuevos desarrollos que aseguren el flujo de material interno y el intercambio de información mediante la digitalización clave (Schmidtke et al., 2018).

Cada vez es más importante integrar los sistemas de logística actuales y los procesos de producción en un sistema virtual que los relacione para analizar sus partes internas y externas en términos de las localizaciones y las partes involucradas bajo una perspectiva operacional enfocada a indicadores (Schmidtke et al., 2018).

Automatización

Granlund and Wiktorsson (2014) Postulan que la mayoría de las empresas tienen una brecha entre el estado actual o futuro de sus procesos y las fuertes consecuencias que pueden afectar el rendimiento de existir o no una mejora en los mismos, lo anterior de se debe a los diferentes enfoques estratégicos y la manera deseada de trabajar, por lo que deben investigar en áreas de oportunidad específicas para tomar decisiones correctamente justificadas. Con base en esta problemática, existe la teoría que busca conectar la gestión de la automatización con los sistemas logísticos internos para encontrar brechas y la potencial mejora de las mismas.

La automatización brinda la oportunidad de aumentar las ventajas competitivas de manera operacional en la industria de la manufactura debido a que se encuentra en una transformación donde el rango de sus aplicaciones se ha mantenido en crecimiento en áreas como logística, mantenimiento y centros de venta. Los beneficios potenciales de la automatización en la logística interna en las actividades de transporte interno y almacenamiento de materiales son grandes ya que gran parte de estas operaciones se caracterizan por tener actividades manuales, mismas que consumen bastante tiempo, recursos y entrenamiento físico (Granlund and Wiktorsson, 2014).

Planeación de los Recursos Empresariales (ERP)

Un sistema ERP tiene dos beneficios potenciales: (1) Un esquema general de la empresa y los negocios de manera que se integren todas las funciones y los departamentos, así como (2) una base de datos donde se registren los movimientos derivados de los negocios, junto con el procesamiento de la información mediante funciones para registrar, analizar, monitorear y reportar situaciones (Umble et al., 2003). Lo anterior contribuye a generar un ambiente unificado donde se incremente la cooperación y sincronía entre los departamentos de la organización para el logro de objetivos de las partes involucradas.

Sistemas de Planificación y Programación Avanzada (APS)

A pesar que los sistemas APS comúnmente se implementan para programar la producción tomando en cuenta variables y restricciones, éstos permiten analizar el comportamiento del inventario a partir de su capacidad y apoyan a la toma de decisiones a nivel estratégico, táctico y operacional (David et al., 2006). Los sistemas APS no se limitan a una sola empresa y son útiles para dar solución a problemas relacionados a la cadena de suministro.

2.4. Logística externa

La logística externa requiere de la planeación de la logística para asegurar que los principios de la misma son puestos en práctica y que los objetivos de relevancia para la empresa puedan ser cumplidos (Rushton et al., 2014). La planeación debe ser jerarquizada de acuerdo a los distintos horizontes de planeación, resultando tres clasificaciones para la planeación: (1) estratégica, (2) táctica y (3) operacional.

Estratégica Se realiza para un horizonte de medio plazo (1 a 5 años) donde se toman decisiones generales dando continuidad a las funciones de la compañía y relaciones con otras, se consideran planes financieros y se estudian las políticas para acompañar un plan estratégico.

Táctica Abarca el corto plazo en un horizonte que comprende desde 6 meses a 1 año. Las decisiones se enfocan en los subsistemas sin interferir en componentes logísticos, usa presupuestos anuales para financiarse.

Operacional Se toman decisiones cada día, las operaciones se controlan mediante los estándares y sus límites, la vía de control es mediante reportes semanales y mensuales.

2.4.1. Componentes y actividades

En la Figura 2.2 se muestra cómo Rushton et al. (2014) identifica los diferentes elementos entre la distribución y la logística para categorizarlos de acuerdo a la jerarquía de las planeaciones.

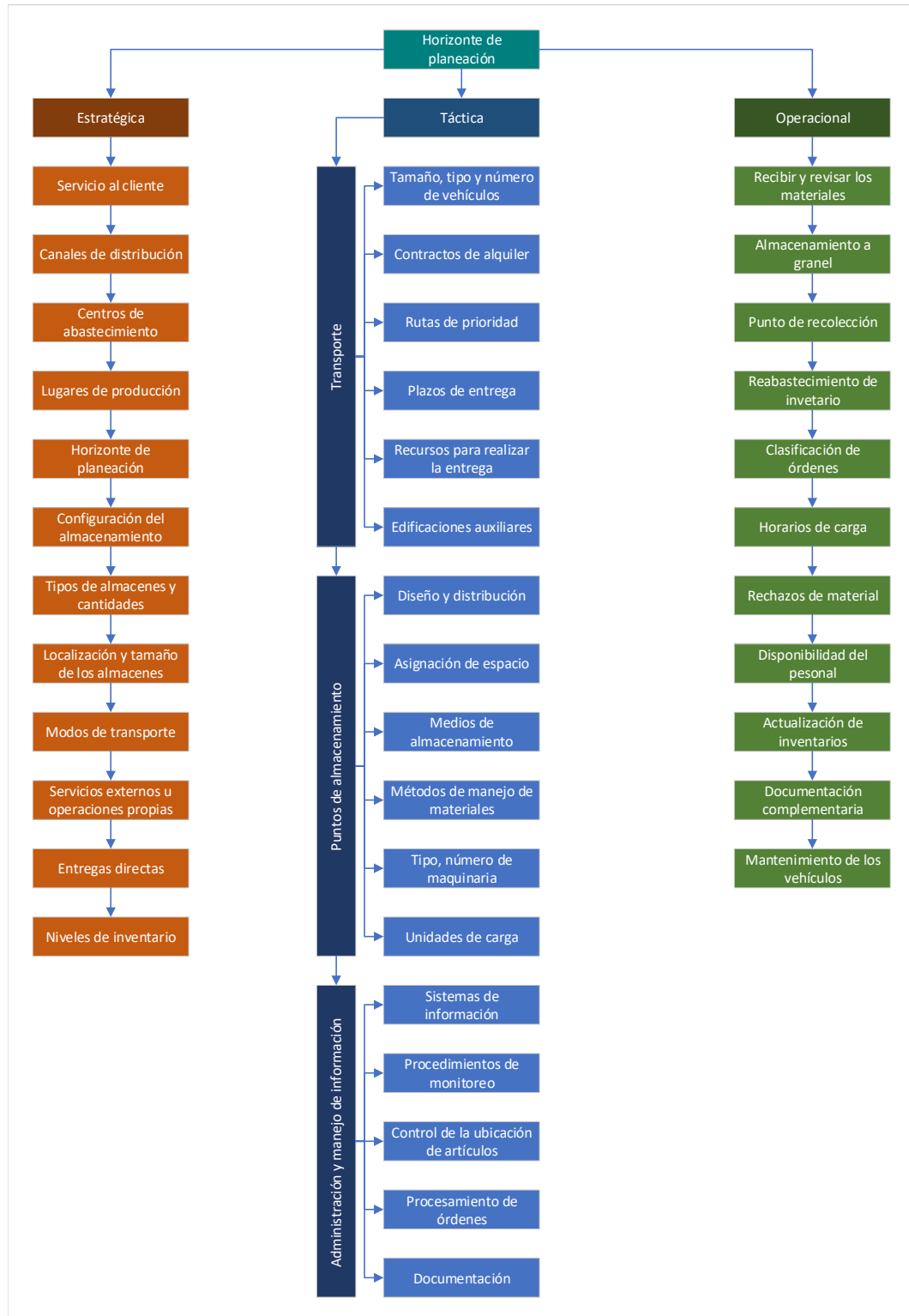


Figura 2.2: Clasificación de los elementos de la logística según el horizonte de planeación.

2.4.2. Herramientas para la Gestión de la Logística Externa

Identificación por radiofrecuencia (RFID)

Es una tecnología utilizada para mejorar la localización y monitoreo de elementos móviles en un entorno mediante el uso de antenas para determinar las ubicaciones vinculadas a cada RFID (Hähnel et al., 2004).

Planificación Colaborativa, Previsión y Reabastecimiento (CPFR)

La planeación, pronóstico y reabastecimiento colaborativo integran una manera de administrar la demanda para mejorar la visibilidad en la cadena de suministro a través de la mejora en el pronóstico de las órdenes y su cumplimiento donde tiene un rol importante la comunicación de las partes involucradas a lo largo de toda la cadena (Min and Yu, 2008). El proceso se compone de 9 pasos:

1. Desarrollar acuerdos entre las partes
2. Crear planes de negocio integrales
3. Generar los pronósticos de las ventas
4. Identificar excepciones en los pronósticos de ventas
5. Resolver la incertidumbre en los artículos de excepción
6. Generar los pronósticos de las órdenes
7. Identificar excepciones en los pronósticos de las órdenes
8. Resolver la incertidumbre en los artículos de excepción
9. Generar las órdenes.

Sistema de Administración de Transporte (TMS)

Un Sistema de Administración de Transporte se conforma por un dispositivo en un medio de transporte que se encarga de gestionar de manera remota el estado del elemento a transportar (Asari et al., 2005). El dispositivo es capaz de detectar la posición, el estado de encendido o apagado, funcionar como transmisor e intercambiar información para brindar mayor control de las operaciones de traslado, conocer el rendimiento de ejecución y dar seguimiento a los envíos con base a el análisis de los datos recopilados.

Inventario Administrado por el Proveedor (VMI)

Se trata de una relación de las partes involucradas a lo largo de la cadena de suministro que busca que las empresas de manufactura así como los revendedores o distribuidores, según sea el caso, tomen la administración principal del abastecimiento de inventario y las decisiones para la empresa consumidora, lo que ocasiona que el vendedor monitoree los niveles de inventario del comprador ya sea mediante visitas o por medios electrónicos y tome las decisiones que involucren el reabastecimiento en términos de cantidad, entregas, y plazos tal que las órdenes de compra comúnmente iniciadas por la empresa consumidora ahora son iniciadas por el proveedor (Waller et al., 1999).

Referencia de Operaciones de la Cadena de Suministro (SCOR)

Es un modelo de referencia para los procesos de negocios que aporta un conjunto de herramientas para relacionar los procesos a métricas, mejores prácticas y tecnología. Su alcance incluye los elementos de la satisfacción de la demanda desde el pronóstico de las órdenes hasta el pago de los artículos, siendo así una herramienta bastante útil para describir, analizar y mejorar el rendimiento de la cadena de suministro (Kurwakumire et al., 2020).

Capítulo 3

Caso de estudio - Logística interna con análisis ABC

3.1. Introducción

Uno de los principales factores que afectan a las operaciones logísticas son aquellos relacionados con el almacenamiento. El impacto que tiene el almacenamiento para el costo y la eficiencia de las empresas es un elemento crítico para la cadena de suministro. Diferentes estudios realizados alrededor de la administración de inventarios muestran que las operaciones de almacenamiento en una empresa representan aproximadamente un 23 % de los costos logísticos en el caso de países como Estados Unidos y hasta un 39 % para el caso de Europa (Fumi et al., 2013).

Dentro del almacén, la preparación y recolección de productos que conforman una orden de producción o de venta, representan una porción importante de los costos de almacenamiento (Bohórquez and Hernández, 2013).

La problemática en las operaciones de preparación y recolección surge como efecto de diferentes condiciones como: (1) el tamaño de los lotes de producción bajo un enfoque “personalizado”, lo que conlleva a generar cantidades pequeñas y con alta frecuencia, y (2) las políticas de inventario basadas en la pronta respuesta a la demanda de los clientes en un menor tiempo. Factores asociados a la reducción de tiempos de respuesta de procesamiento de órdenes personalizadas y el aumento en la diversidad de productos han provocado el crecimiento en la complejidad para la administración de las operaciones de preparación y recolección (De Koster et al., 1999).

La eficiencia en la preparación de órdenes de producción o de compra depende de factores relacionados con el sistema de abastecimiento y en la distribución del almacén (Bohórquez and Hernández, 2013).

Existen tres factores principales sobre los que se puede diseñar un modelo óptimo para la preparación y recolección de pedidos. El primero se basa en identificar la política de almacenamiento que se adapte a los requerimientos de la empresa, por ejemplo, el almacenamiento por familias de productos. Como segundo factor, se encuentra la política de ruteo, la cual indica la secuencia de operaciones sobre la cual se deberán recolectar los productos e insumos necesarios para la producción (Henn and Schmid, 2013; Pazour and Carlo, 2015). Por último, la colocación de lotes integrados con el propósito de agregar órdenes de compra o producción para recogerlos en un mismo tour de recolección.

Para la solución de los problemas relacionados con la preparación y recolección de pedidos se han propuesto diferentes estrategias basadas en métodos heurísticos, los cuales son ampliamente aceptados por ofrecer soluciones factibles para

su implementación (Cano et al., 2018). Existen propuestas de autores como Venkitasubramony and Adil (2017) que proponen un algoritmo de optimización de enjambre para diseñar un almacén multinivel de carga unitaria que emplea almacenamiento basado en clases con el fin de reducir el tiempo de preparación de pedidos.

Cardona et al. (2016) planean también, modelos de optimización no lineal para minimizar la distancia de viaje esperada del almacén y utilizan métodos analíticos para resolverlo basándose en la política de almacenamiento ABC. Otras contribuciones como la de Khojasteh and Son (2016) incluyen el reducir la distancia con ayuda de modelos de programación no lineal de un robot el cual maneja múltiples artículos para un solo cliente.

Espinoza et al. (2016) incluyen dentro de sus propuestas para la administración de inventarios, la distribución de planta para aprovechar al máximo el espacio disponible con ayuda de algoritmos genéticos y obtener una asignación de productos óptima.

En el caso de problemas de preparación de pedidos las propuestas de solución tienen como objetivo reducir los costos de transporte y satisfacer las expectativas de los clientes. Estos problemas se conocen como NP-Complejo, los cuales son resueltos principalmente por heurísticas como algoritmo genético (GA) los cuales ofrecen solución al problema de recolección bi-objetivo (Deliktas et al., 2018).

Bajo la problemática planteada anteriormente, el objetivo de este capítulo es proponer diferentes técnicas basadas en mapeos de procesos y análisis ABC como política de almacenamiento y posteriormente a través del problema del agente viajero aplicar un algoritmo genético para determinar la mejor ruta para la recolección de productos.

La hipótesis de este trabajo fue que mediante diferentes herramientas de análisis es posible seleccionar una política de almacenamiento y rutas de recolección óptimas para mejorar el desempeño logístico de una empresa.

3.2. Metodología

3.2.1. Descripción del almacén y mapeo de procesos

El caso de estudio sobre el que se realiza la propuesta se basó en una empresa del sector alimentario la cual concentra la mayor parte de sus materiales en el almacén de materia prima.

Dentro del almacén de materia prima de la empresa de estudio, se manejan un alto volumen de materiales agrupados por nueve familias que en conjunto representan 231 materiales (SKU, por sus siglas en inglés). Las familias de productos están conformadas por materiales plásticos, químicos, instrumentos de laboratorio, concentrados y algunos ingredientes perecederos, los cuales son almacenados en diferentes presentaciones como sacos, garrafones o contenedores.

El espacio de almacenamiento está constituido por diversas áreas que corresponden a las diferentes familias de productos como se muestra en la Figura 3.1. Todo el material es almacenado en racks con su respectiva tarima y otros únicamente son colocados sobre el piso con su área delimitada. Se designó un espacio para el material no conforme ya que en algunas situaciones la materia prima que llega a la empresa no cumple con los estándares de calidad o no es entregada en la cantidad correcta por lo que es rechazada por el área de control de calidad. Además, la empresa considera en su distribución del almacén de materias primas el aspecto de seguridad protegiendo al personal con un área específica para los residuos peligrosos.

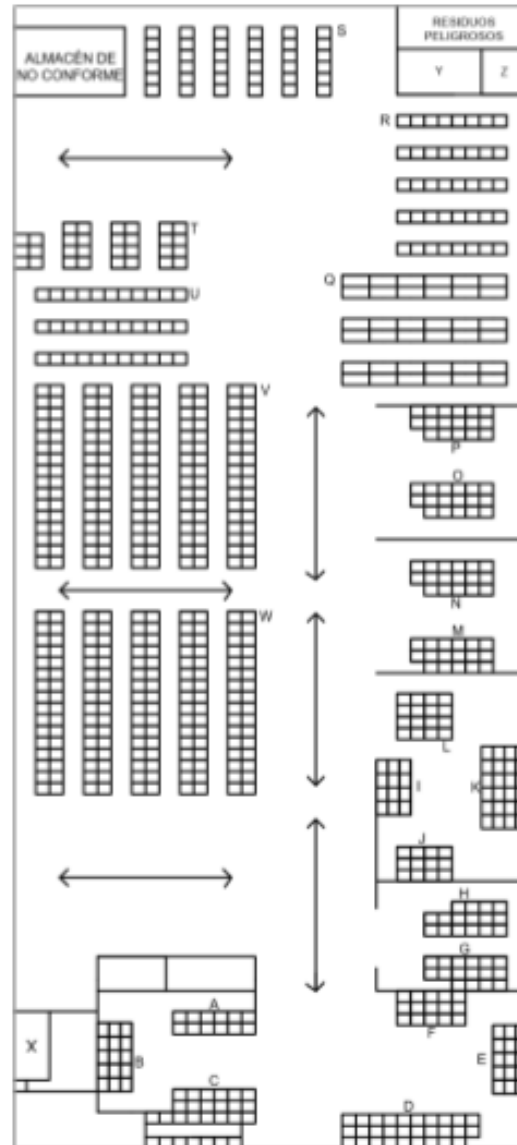


Figura 3.1: Distribución actual de la empresa

Las ubicaciones en rack se identifican físicamente en el almacén, desde el conjunto A hasta la W, como se muestran en la Figura 3.1. Las ubicaciones en piso generalmente no tienen una posición asignada, por lo que puede distribuirse en diferentes lugares de acuerdo a las necesidades y demandas de producción.

Dentro de este almacén existe el problema en cuanto al alistamiento de pedidos de los diversos materiales a causa de la inexistencia de una secuencia de recolección, lo que causa retrasos, tiempo ocioso y aumento del costo logístico.

Para identificar los materiales en el almacén, se realizó un mapeo de procesos para cada familia de materiales. Por ejemplo, la Figura 3.2 muestra el mapeo para una familia en específico, el cual inicia por el departamento de recepción y vigilancia que procederá a notificar al Líder de Materia Prima (LMP) acerca de la llegada de materiales a la empresa. El LMP es la persona que autoriza el ingreso a planta, posteriormente, el operador del transporte se registra con el LMP para entregar la orden de traspaso de materia prima y sus certificados de calidad correspondientes para verificarlos y autorizar vía equipo de manejo de materiales (montacargas) la descarga del material.

Posteriormente, el departamento de calidad analiza el cargamento para verificar que no se presente material defectuoso en la entrega, y en caso, autorizar si continua descargando el material. Si no existen problemas de calidad, el operador del montacargas realiza la descarga de materiales. En el caso de encontrar material que no cumpla con los requisitos, el producto se regresará al transporte. Una vez que el operador del montacargas concluye la descarga, este notifica al LMP acerca de las cantidades recibidas. El operador del transporte pasará con el LMP para recibir los documentos de la entrega. Finalmente, el LMP realiza el registro en el sistema.

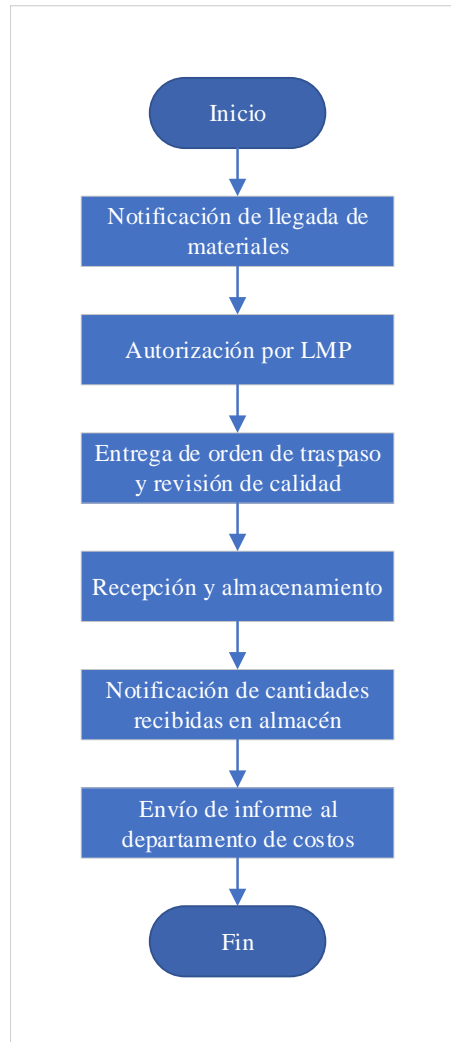


Figura 3.2: Mapeo de procesos

Con el propósito de evaluar la conveniencia de la distribución en el almacén, se realizaron cuatro configuraciones incluyendo la distribución actual, como propuesta.

Cada una de estas configuraciones mostradas en las Figuras 3.3, 3.4 y 3.5 representa un acomodo en el almacén de acuerdo a las propias sugerencias emitidas por la empresa. Se cambiaron algunos espacios de las ubicaciones de racks y piso. Se consideró ubicar materiales con alta rotación cerca de los accesos. Además, el almacén de material no conforme se colocó cerca de la entrada del almacén, de este modo cualquier producto defectuoso tendría la disponibilidad de ser despachado para su regreso. Por último, las áreas que ocupan mayor espacio en el almacén fueron colocadas de forma continua y en algunos casos estas áreas fueron colocadas de tal modo que los pasillos tuvieran el mismo

sentido, con el propósito de tener el espacio disponible para maniobrar, colocar y recolectar productos.

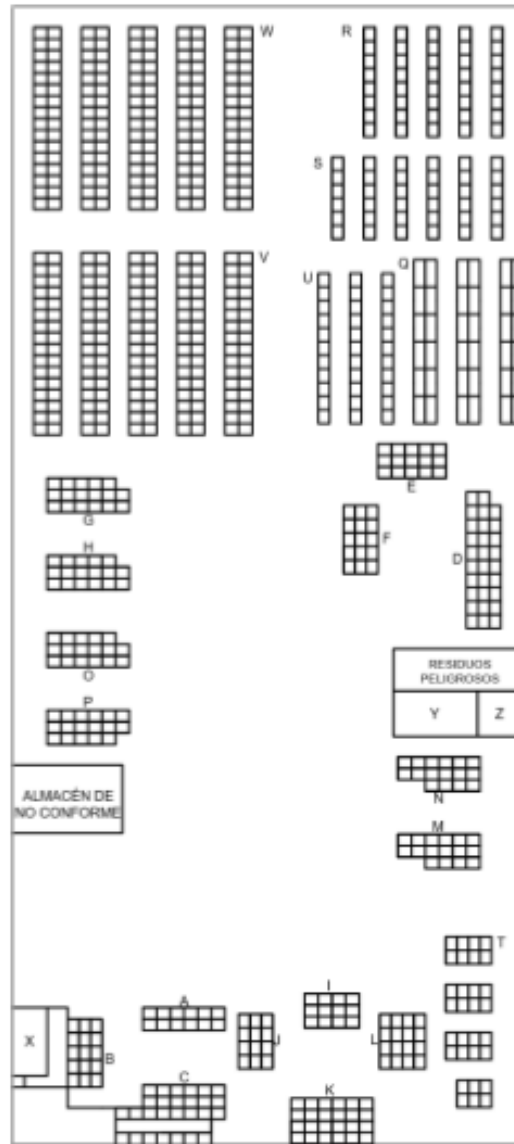


Figura 3.3: Configuración 1

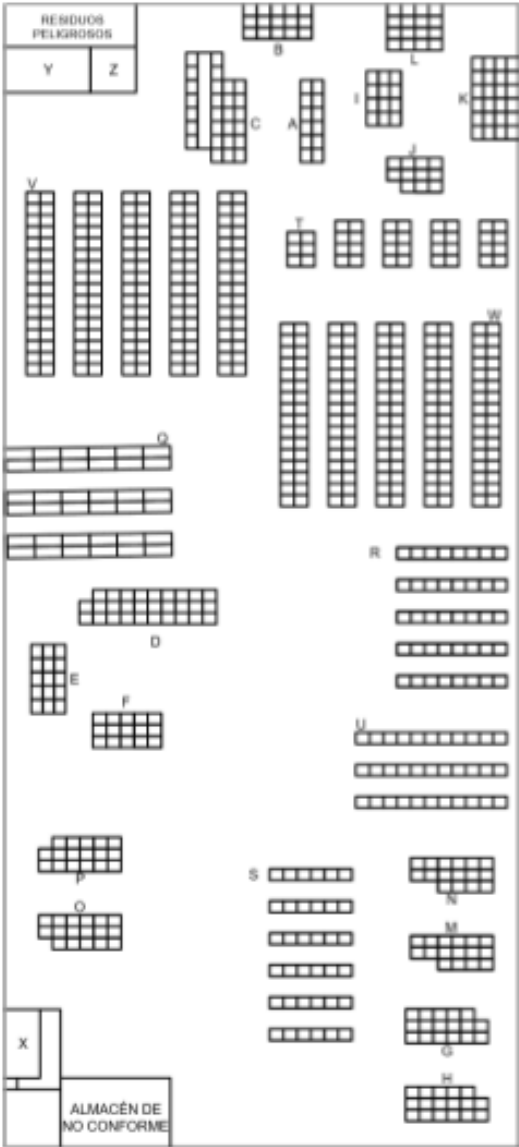


Figura 3.4: Configuración 2

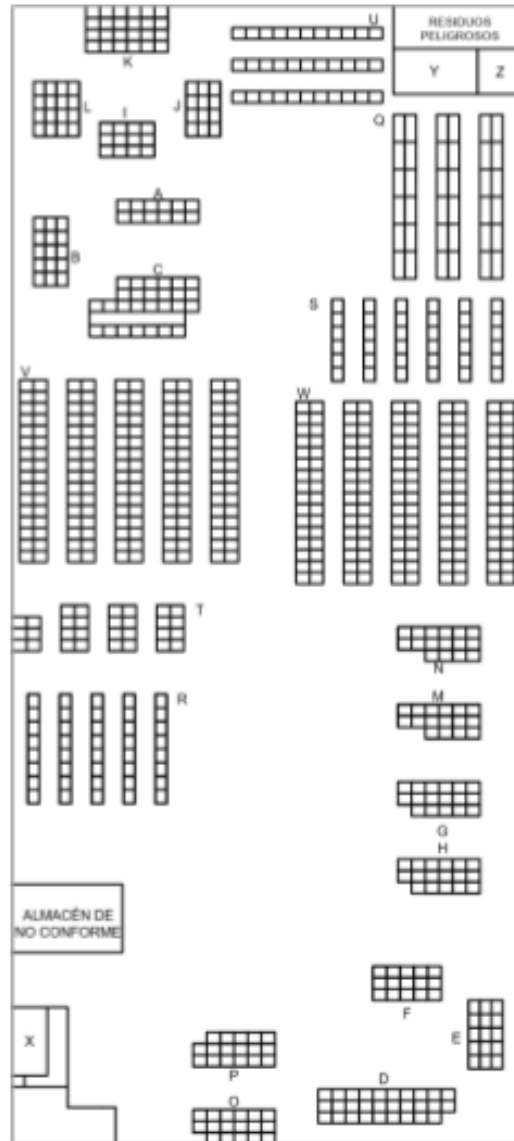


Figura 3.5: Configuración 3

Las configuraciones se basan en diferentes acomodos de las familias, para lo cual se analizaron los diferentes mapeos de procesos para el flujo de materiales. Las áreas de materiales en piso y en racks fueron analizadas en la configuración.

3.2.2. Análisis ABC

Recolección y preparación de datos

Los datos se exportan del sistema SAP de la empresa, con lo que se obtiene una base no depurada en formato de hoja de cálculo. Posteriormente se utiliza el software Tableau Prep Builder para corregir errores, datos repetidos e inconsistencias encontradas a causa del ingreso de datos por el factor humano como se muestra en la Figura 3.6.

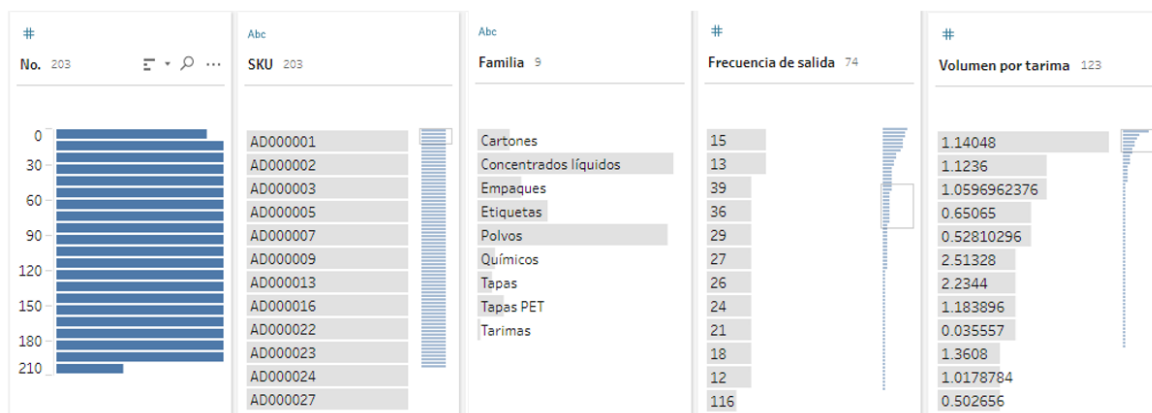


Figura 3.6: Depuración de la base de datos en Tableau Prep Builder

Análisis ABC recursivo

La metodología para realizar el análisis ABC según Heizer and Render (2009) se representa en la Figura 3.7. El análisis ABC recursivo ocupa más de un criterio de análisis, por lo que la misma secuencia de pasos se realiza tantas veces como criterios de estudio se consideren obteniendo así una clasificación doble ABC como se muestra a continuación.

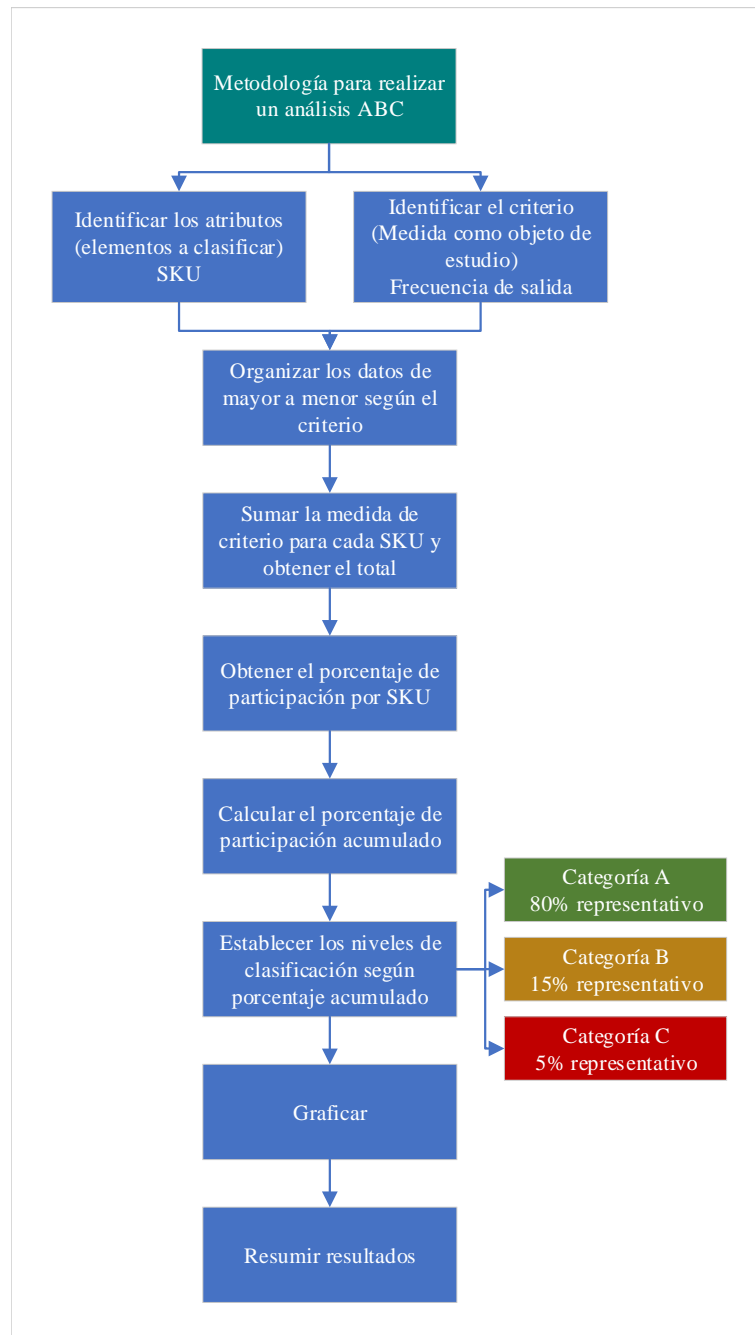


Figura 3.7: Metodología para realizar un análisis ABC

En la solución de este problema se realizó un análisis ABC recursivo tomando dos consideraciones: (1) los materiales que tienen una mayor frecuencia de entrada y (2) el volumen que ocupan en el almacén. En ambos casos y de acuerdo a los propios requerimientos de la empresa se analizaron las familias de productos que cumplían estas consideraciones.

Con respecto a su frecuencia de entrada, el análisis ABC arrojó los siguientes resultados: 42 productos tipo A, 26 productos tipo B y 163 productos tipo C. De la misma forma, y considerando su volumen, se clasificaron de la siguiente manera: 41 productos tipo A, 23 productos tipo B y 167 productos tipo C.

Posteriormente se realizó una doble clasificación, es decir se ubicaron los productos A con mayor frecuencia de entrada

y que a su vez se encuentren clasificados como A por el volumen que ocupan en el almacén.

En la Figura 3.8 se presenta el recuento de artículos según su clasificación doble ABC.

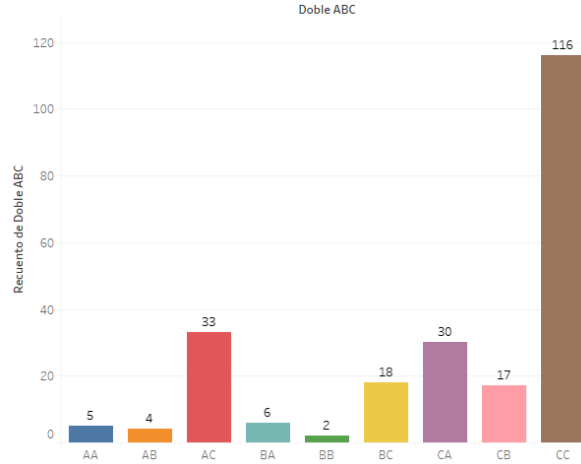


Figura 3.8: Representación del análisis ABC doble frecuencia de entrada y volumen

3.2.3. Localización del punto de recolección

Con el propósito de determinar la ubicación del punto de recolección que minimice las distancias de traslado y la posterior operación del almacén, a través del problema de ubicación de instalaciones se minimizaron los puntos $a^1, \dots, a^m \in \mathbb{R}^2$ donde a representa una ubicación dentro del almacén. En este caso, se seleccionó una órden de producción incluyendo 20 materiales y con base en ésta se ubicaron los materiales necesarios dentro del almacén.

Usando las distancias euclidianas entre puntos d , el cálculo para la ubicación del punto de recolección utilizó la Ecuación 3.1.

$$d_2^2(x, a^i) := (x_1 - a_1^i)^2 + (x_2 - a_2^i)^2 \quad (3.1)$$

Para todo $(x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2$ y todo $a^i := (a_1^i, a_2^i), i = 1, \dots, m$

La Ecuación 3.2 muestra la expresión para el cálculo

$$\sum_{i=1}^m v_i * d_2^2(x, a^i) = \sum_{i=1}^m v_i * [(x_1 - a_1^i)^2 + (x_2 - a_2^i)^2] \quad (3.2)$$

Donde $v_1, \dots, v_m \in \mathbb{R}$ son ponderaciones que se asignan a las ubicaciones de acuerdo a la clasificación ABC. Las ponderaciones para cada clasificación se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Ponderaciones

| Clasificación | Ponderación |
|---------------|-------------|
| A | 10 |
| B | 5 |
| C | 1 |

Posteriormente el punto de recolección para cada una de las configuraciones propuestas fue calculado utilizando el software de Matlab, en total se analizaron las tres posibles configuraciones del almacén sugeridas por la empresa. En cada uno de estos se obtuvo el punto de recolección, por ejemplo, para el caso de la configuración actual, gráficamente el punto se muestra en la Figura 3.9.

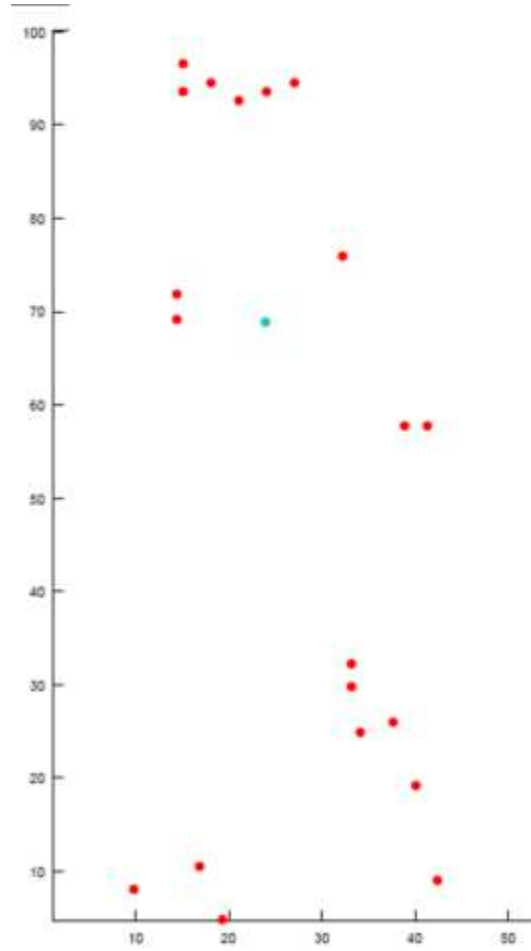


Figura 3.9: Localización de punto óptimo para la distribución.

3.2.4. Rutas de recolección

El problema del agente viajero (TSP) es un problema clásico NP-Complejo (NP-Hard, para su notación en inglés), en el cual se requiere llegar a n ciudades en secuencia para vender determinados productos basado en distancias conocidas. Esencialmente, en el TSP se busca encontrar la ruta con la menor distancia de traslado.

En este caso, con base en el problema del TSP, el modelo para optimizar la ruta de recolección se determinó con n artículos de un pedido que se realiza mediante una secuencia de recorridos en la cual existe una distancia de trayecto y considera la función objetivo de:

$$\min D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 (j = 1, \dots, n)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 (i = 1, \dots, n)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} (i, j = 1, \dots, n)$$

3.3. Resultados

Debido a que el TSP se considera dentro de los problemas NP-Complejo, en este caso se aplicó una heurística de algoritmo genético para lograr una buena aproximación a la solución óptima. El algoritmo genético ejecuta una búsqueda simultánea en diferentes regiones del espacio factible, realiza una intensificación sobre algunas de ellas y explora otros subespacios a través de un intercambio de información entre configuraciones. En la Tabla 3.2 se muestran los datos utilizados por este algoritmo.

Tabla 3.2: Parámetros usado en el algoritmo genético.

| Concepto | Parámetro |
|--------------------------------|---|
| Población inicial | 100 cromosomas (Aleatorio) |
| Número de genes por cromosomas | En función del tamaño de la configuración |
| Proceso de selección | Esquema de la ruleta |
| Tipo de crossover | Punto simple |
| Tasa de crossover | 0.9 |
| Tasa de mutación | 0.04 |
| Máximo numero de generación | 1000 |
| Criterio de parada | Máximo número de generaciones |

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.3 donde se observa que la mejor propuesta es aquella con la menor distancia recorrida, gráficamente la solución se muestra en la Figura 3.10.

Tabla 3.3: Resultados.

| Configuración | Mejor resultado (m) |
|---------------------|---------------------|
| Distribución actual | 247.29 |
| Configuración 1 | 274.99 |
| Configuración 2 | 292.01 |
| Configuración 3 | 293.68 |

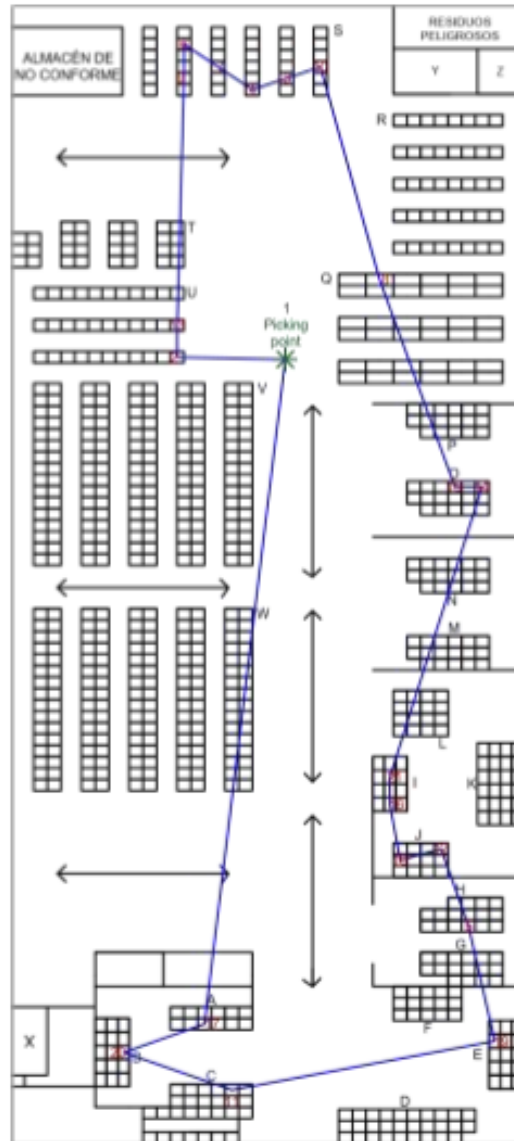


Figura 3.10: Localización de punto óptimo para la distribución actual.

3.4. Discusiones

El aprovechamiento de espacio en el cual se realizan las funciones de almacenamiento, así como la reducción de tiempos de operación son algunos de los principales problemas que se enfrenta en la administración de almacenes. Mediante esta propuesta y utilizando un ABC recursivo se logró identificar los productos en el almacén de acuerdo a su frecuencia de entrada y volumen, posteriormente mediante el modelo clásico de TSP con algoritmo genético se diseñó una ruta de recolección. Los resultados de este estudio muestran que es posible configurar una ruta óptima, con base en las ponderaciones ABC de los productos, y a su vez minimizar las distancias de traslado. De acuerdo al análisis propuesto en este caso de estudio, la configuración actual del almacén, es la adecuada para optimizar las operaciones logísticas de recolección de productos en la empresa.

Capítulo 4

Caso de estudio - Distribución de almacén mediante análisis ABC

4.1. Introducción

El almacenaje y la administración de inventarios representan una de las áreas de oportunidad en las empresas para reducir y optimizar sus costos. Para muchas organizaciones, el almacenamiento tiene alto potencial para la implementación de mejoras, que pueden lograr impactar favorablemente en la eficiencia operacional del negocio y en las operaciones relacionadas con el abastecimiento y la distribución (Adelkovic and Radosavljevic, 2018). En términos económicos, los almacenes representan cerca del 15 % de los costos logísticos totales en países desarrollados (Guo et al., 2016). Un almacén es una instalación intermediaria entre los proveedores y los clientes, cuya utilidad es amortiguar la demanda considerando variables de tiempo y costo, buscando reducir la brecha entre la producción y el consumo de bienes (Aqlan, 2017). De acuerdo a APICS (Blackstone, 2008) un almacén es el lugar donde sucede el resguardo de piezas y productos para uso futuro. Las operaciones que se realizan en un almacén se dividen generalmente en recepción, almacenamiento, clasificación y envío (Çelik and Süral, 2019), siendo las operaciones de preparación de pedidos las que consumen más tiempo y trabajo. La preparación de pedidos es la operación más costosa, constituyendo alrededor del 55 % de los costos operativos de un almacén (De Santis et al., 2018; Grosse et al., 2017), siendo esta la principal razón por la que se considera a la preparación de pedidos como un área de oportunidad de estudio para alcanzar la mejora de la productividad en la empresa. En logística, la preparación de pedidos se refiere al proceso de seleccionar un conjunto de materiales, recuperarlos de sus diversas ubicaciones de almacenamiento y transportarlos para ser revisados, empacados y enviados para el cumplimiento de las órdenes de los clientes internos o externos. En la planeación para la preparación de los pedidos, existen varias decisiones que deben realizarse a nivel táctico y operativo. Las decisiones en el nivel táctico incluyen: (1) la asignación de productos a las áreas de almacenamiento y (2) la zonificación de las áreas de recolección, que es un medio a través del que se deciden las políticas sobre como dividir el área de preparación de pedidos en zonas y determinar las ubicaciones de las zonas de preparación de pedidos (van Gils et al., 2018).

En este estudio se presenta un enfoque para la administración de inventario, mediante un modelo de ABC recursivo con base en variables relacionadas con la frecuencia de salida y volumen ocupado en almacén. El objetivo de este capítulo es presentar una propuesta basada en la técnica de análisis ABC recursivo sobre los conjuntos de materiales

distribuidos en el almacén de una empresa del sector alimentario, con el propósito de determinar la configuración para la distribución óptima para dicho almacén.

4.2. Revisión de la literatura

La necesidad latente de optimizar los costos y el servicio al cliente, ha colocado a los inventarios como un área fundamental de mejora en las empresas, debido al alto nivel de costo que éstos pueden llegar a alcanzar en una organización. De acuerdo a la extensiva revisión de la literatura realizada por Guo et al. (2016), los problemas para la administración de inventarios se clasifican en función del almacenamiento (recepción, almacenaje, preparación de pedidos y envíos). Entre las técnicas tradicionales y más ampliamente utilizadas por las organizaciones para la administración de inventario, se encuentra el análisis ABC. El almacenamiento basado en clases de acuerdo con la curva de demanda ABC, divide los artículos almacenados considerando políticas como la rotación de inventarios o el costo. Grosse and Glock (2015) desarrollan un modelo analítico que ayuda a predecir el desempeño en determinados elementos del sistema de preparación de pedidos.

Ishizaka et al. (2018), menciona que incluso en las empresas de tamaño moderado existe una gran cantidad de existencias en el inventario y debido a esto se requiere mantener sólo aquellas consideradas necesarias. Teunter et al. (2009), afirma que los sistemas de clasificación de inventario ABC solucionan este problema mediante la organización y administración de inventarios conformados de una alta cantidad de artículos distintos, conocidos como mantenimiento de existencias en unidades. El propósito de la clasificación ABC es el simplificar la gestión del inventario, determinando los niveles de control de existencias asociados con cada clase. En general, el análisis ABC clasifica los artículos en tres categorías: grupo A (elementos muy importantes), grupo B (moderadamente importantes) y el grupo C (poco importantes), cuya base teórica se basa en gran medida en el principio de Pareto. Li et al. (2019) menciona que, en la administración de inventarios, el análisis ABC es una técnica de clasificación efectiva para desarrollar un mecanismo que identifique unidades en almacenamiento de existencias que no solo tengan impacto significativo en el costo total del inventario, sino también que requieren diferentes esquemas y controles de administración.

En situaciones prácticas, se recomienda determinar para los artículos en inventario, un número óptimo de agrupaciones de acuerdo a sus características empleando un enfoque a técnicas de ingeniería que permitan la toma de decisiones de acuerdo a la estrategia de producción, la administración de inventarios y el servicio al cliente tomando en cuenta cada clase de artículos en lugar de cada artículo por separado (van Kampen et al., 2012). Ishizaka et al. (2018) indica que la clasificación de los artículos en inventario aplicando el análisis ABC de un solo criterio es ampliamente utilizada en las empresas debido a que este método es fácil de entender y usar, sin embargo, Mehdizadeh (2020) postula que, aunque el análisis ABC de un solo criterio es usado en investigación, su aplicación en empresas es menor que el análisis ABC multicriterio. Clasificar un artículo tomando en cuenta sólo una característica no puede representar la importancia total de ese artículo.

4.3. Metodología

El enfoque propuesto para la administración de inventario en esta investigación, se fundamenta en el análisis ABC recursivo, con el propósito de identificar grupos de materiales con características similares en importancia y que se encuentran ubicados en un almacén. Cada clasificación se integra considerando variables con características particulares, haciéndolos diferentes de los demás materiales. Para esta investigación se utilizó como caso de estudio una empresa

internacional del sector alimentario, la cual se enfoca en la elaboración de alimentos y bebidas, analizando específicamente la problemática de una unidad de negocio localizada en México. Esta unidad de negocio se especializa en la elaboración y embotellado de bebidas. La administración de inventarios de dicha empresa se realiza a través de almacenes internos (dentro de las instalaciones) y almacenes externos (ubicados fuera de las instalaciones). En la Figura 4.1 se muestra la logística que se realiza en el almacén, con el departamento de producción como cliente interno.

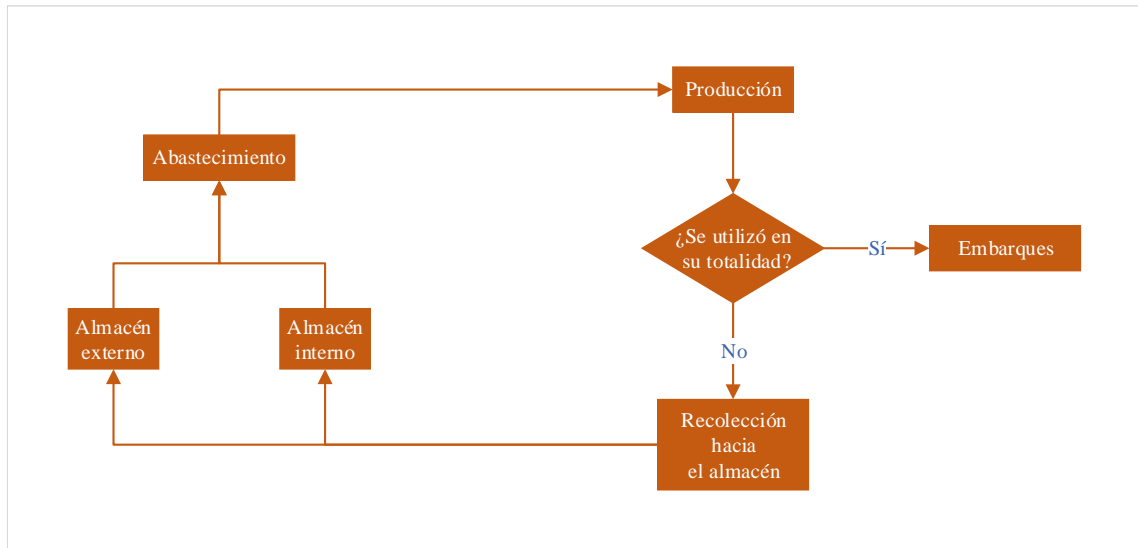


Figura 4.1: Logística en el almacén.

Los altos niveles de inventarios, la capacidad de almacenamiento, la falta de espacios para el almacenaje y las frecuentes variaciones en la demanda, son algunas de las problemáticas presentes en la administración de los inventarios de la empresa.

4.3.1. Diagrama SIPOC e identificación de procesos

Como primer paso, se seleccionaron los métodos y herramientas para asegurar la identificación, ubicación y localización de los diferentes materiales y productos, utilizados por la empresa en su cadena de suministro, presentes a lo largo de los diferentes procesos productivos. En este caso, se realizó un diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Output, Customer) como se muestra en la Figura 4.2.

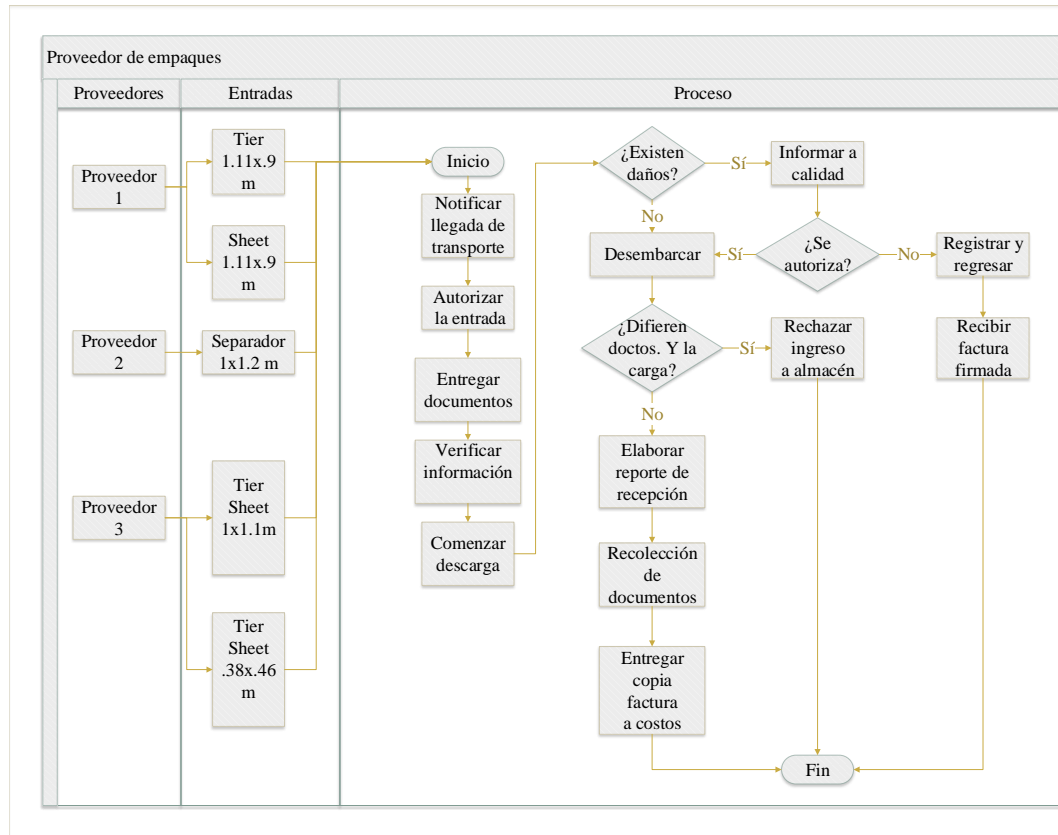


Figura 4.2: Diagrama SIPOC

Mediante la ubicación de códigos de barras en los diversos materiales y utilizando reportes del Sistema SAP de la empresa, se identificaron 203 materiales que entraron al almacén durante un periodo de producción de un año. Los materiales se clasifican por familias, las cuales son: (1) químicos, (2) tapas PET, (3) polvos, (4) concentrados líquidos, (5) tapas, (6) tarimas, (7) etiquetas, (8) empaques y (9) cartones. Una vez identificado los diferentes materiales que conforman el almacén, se seleccionaron los factores que presentan mayor impacto o prioridad para la administración de inventarios. En este caso, se eligieron los siguientes para las salidas del almacén: (1) frecuencia de recolección (PF) y volumen ocupado (VL). La PF determina la frecuencia con la cual son requeridos los materiales por el departamento de producción, el VL fue calculado con base en las dimensiones de la presentación de cada material y el número de estas piezas para cada tarima.

4.3.2. Clasificación ABC

Posteriormente con la información del paso anterior, se realizó un primer análisis ABC con el que se clasificaron los materiales bajo el criterio PF y posteriormente un segundo análisis determinó las categorías estudiando el VL, con lo cual se obtuvo una clasificación doble para cada artículo mediante el análisis ABC recursivo. Se identificó el número de artículos para cada clasificación doble y se obtuvo una jerarquía para las familias en la que se prioriza aquellas con mayor número de artículos de alta significancia. De manera esquemática, el procedimiento se muestra en la Figura 4.3.

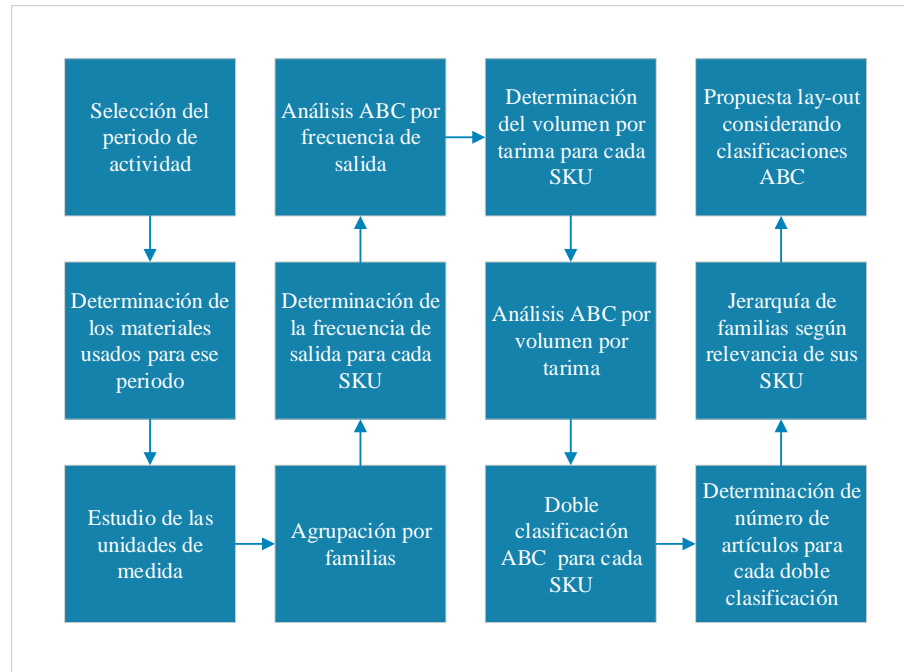


Figura 4.3: Procedimiento

4.3.3. Distribución de materiales y layout

Finalmente, con los resultados obtenidos se realiza el agrupamiento de materiales con base en la clasificación de ABC recursivo, considerando las variables preponderantes para este estudio. En este caso, la empresa sugirió una nueva configuración sobre la cual se analizó la distribución de materiales con base en el agrupamiento sugerido. El objetivo en este último paso es determinar la mejor configuración, que reduzca los tiempos de traslado y al mismo tiempo facilite el acomodo de los materiales en el almacén, de acuerdo a los requerimientos y demanda del cliente interno. La distribución actual (Figura 4.4) del almacén considera el arreglo por familias, organizando los materiales a lo largo de diferentes posiciones para el abastecimiento, algunas de ellas ubicadas en posiciones de “piso” y las restantes en ubicaciones de “racks”. Las 203 posiciones analizadas, corresponde a los materiales de las distintas familias que se encuentran dentro del almacén. La mayor frecuencia de materiales se localiza en posiciones de racks, las cuales por su manejo de materiales requieren de condiciones especiales de almacenamiento, las posiciones en piso refieren a materiales que pueden cambiar de lugar con base en las necesidades de espacio, estas posiciones corresponden generalmente a materiales como empaques y etiquetas, ocupando un volumen (VL) mayor que las posiciones en racks. Los espacios de ubicaciones en racks se encuentran delimitados, mientras que las posiciones en piso pueden cambiar, como se observa en la Figura 4.4.

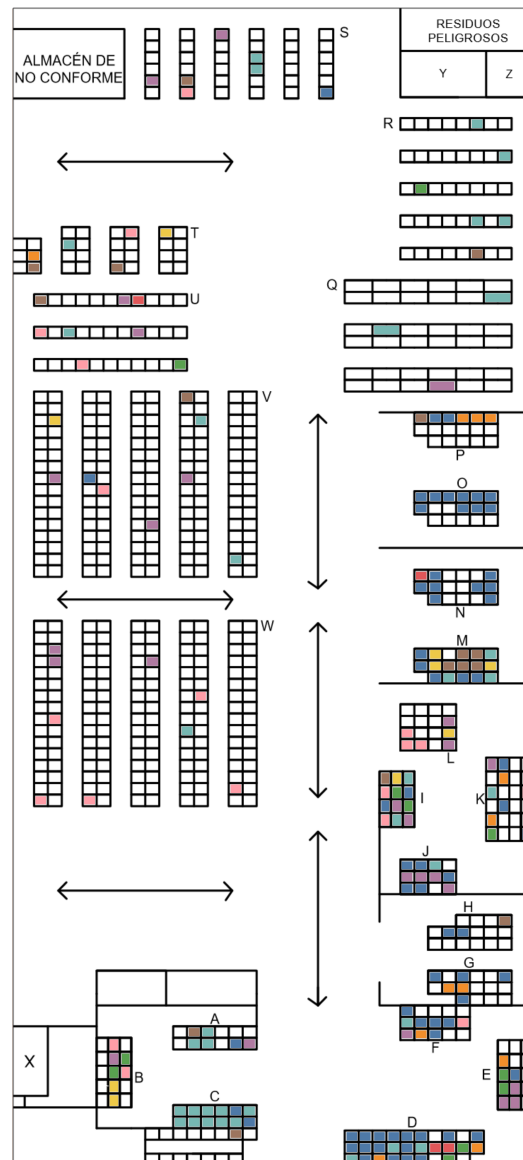


Figura 4.4: Layout actual

Finalmente, con la información obtenida del mapeo SIPOC, el análisis de ABC y utilizando la distribución de layout, se propone un acomodo de materiales con base en las variables de frecuencia de recolección y volumen ocupado.

4.4. Resultados y discusión

4.4.1. Identificación y mapeo

Utilizando la identificación realizada mediante el mapeo de procesos, se identificaron 203 materiales que la empresa considera como relevantes y de mayor valor en cuanto a los niveles de rotación de inventarios y volumen ocupado. Por lo que utilizando las variables de PF y VL, mediante un análisis de Pareto, se identificó la curva de los materiales ABC bajo estas dos variables (Figura 4.5).

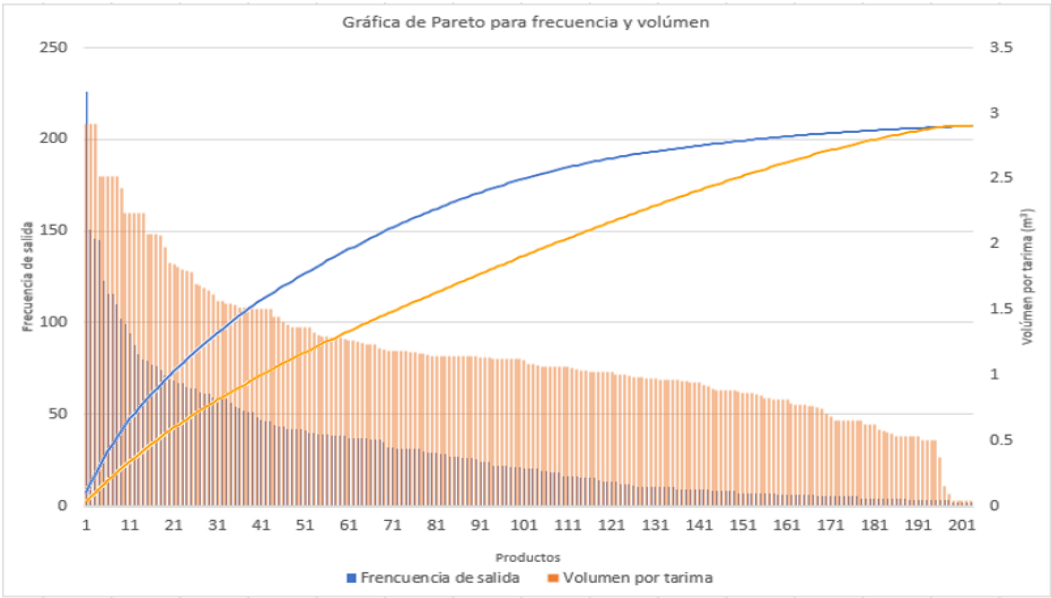


Figura 4.5: ABC

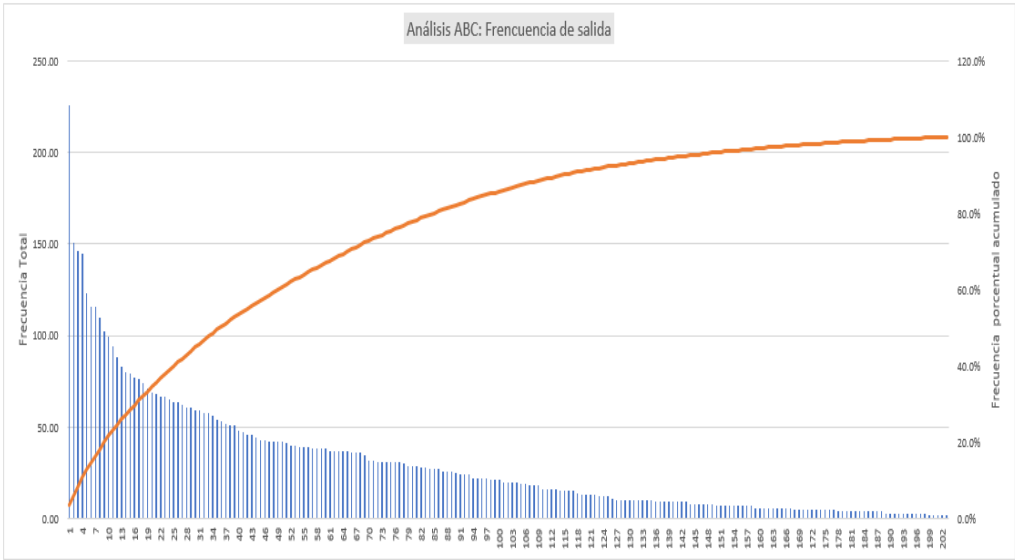


Figura 4.6: Gráfica del análisis ABC para la frecuencia de salida por SKU

Tabla 4.1: Resumen de clasificaciones ABC para la frecuencia de salida por SKU

| Clasificación ABC | Participación porcentual | Cantidad de productos |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|
| A | 80 % | 84 |
| B | 95 % | 58 |
| C | 100 % | 61 |
| Total | | 203 |

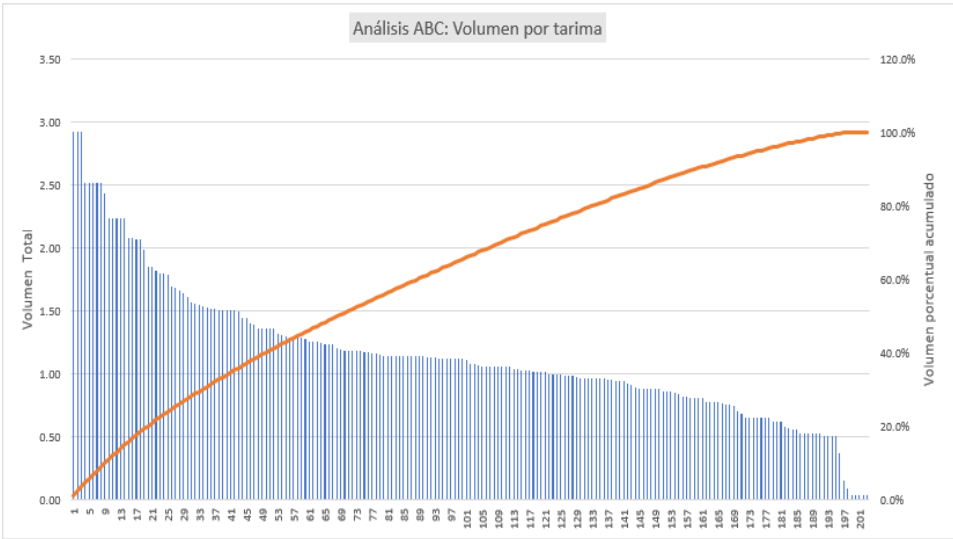


Figura 4.7: Gráfica del análisis ABC para el volumen por tarima por SKU

Tabla 4.2: Resumen de clasificaciones ABC para el volumen por tarima por SKU

| Clasificación ABC | Participación porcentual | Cantidad de productos |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|
| A | 80% | 133 |
| B | 95% | 42 |
| C | 100% | 28 |
| Total | | 203 |

Figura 4.8 se puede apreciar el número de artículos y su clasificación doble ABC con relación a la familia de productos a la que pertenecen.

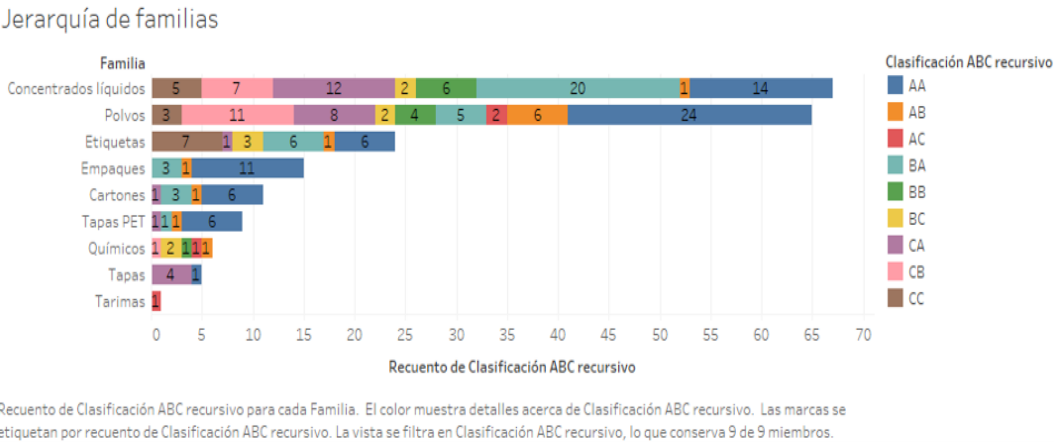


Figura 4.8: Número de artículos con clasificación doble ABC por familia

Las variables de volumen de frecuencia de recolección o salida, indican que por lo menos 20% de todos los materiales representan el 80% de estas variables de PF y VL, lo que comprueba el principio de Pareto. El análisis también demostró que, existen pocos materiales que deben ser administrados de forma rigurosa en cuanto a sus cantidades y niveles de inventario, ya que son críticos debido a las operaciones de abastecimiento y satisfacción de la demanda hacia el cliente interno. La Figura 4.9, permite conocer las prioridades de materiales y su importancia para el almacén. Con los datos sobre frecuencia de recolección o salida y los volúmenes que ocupan los materiales, se construyó un análisis ABC recursivo, basado en ambas clasificaciones. De esta forma, los materiales con clasificación AA fueron aquellos con la más alta frecuencia de PF y VL, por el contrario, los materiales que resultaron con la menor frecuencia de recolección o salida y los menores volúmenes ocupados se clasificaron como CC. La distribución de materiales con base en el ABC recursivo indica que 68 materiales se encuentran en una clasificación AA, lo que sugiere que estos materiales deben ser prioritarios para la distribución en el almacén por la importancia para las operaciones de almacenamiento (Figura 4.9 y 4.10).

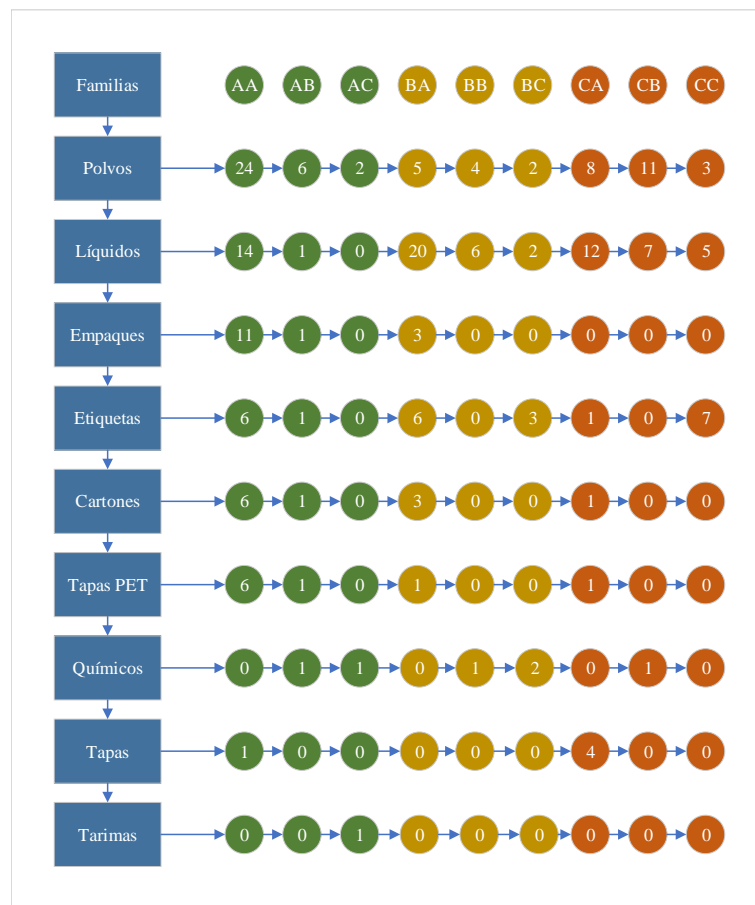


Figura 4.9: Jerarquía de familias de productos respecto a la clasificación ABC

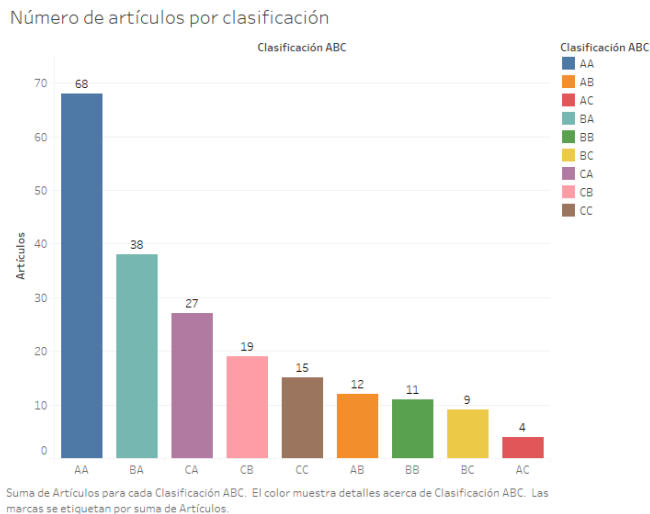


Figura 4.10: Número de artículos por clasificación ABC

De esta manera, la empresa puede identificar los materiales que requieren de mayor atención para el diseño de la distribución y ubicaciones en el almacén. A partir de este análisis recursivo, se realizó un comparativo por familia de los materiales que se encuentra en las diferentes clasificaciones, identificado que la familia de polvos es la más representativa, y, por consiguiente, de mayor relevancia para la empresa (Figura 4.11 y 4.12).

| Clasificación ABC recursivo | Frecuencia de salida | Volumen por tarima (m ³) |
|-----------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| AA | 4,057 | 101 |
| AB | 664 | 10 |
| AC | 187 | 1 |
| BA | 616 | 48 |
| BB | 201 | 10 |
| BC | 125 | 4 |
| CA | 123 | 38 |
| CB | 103 | 15 |
| CC | 82 | 7 |

Figura 4.11: Análisis de resultados

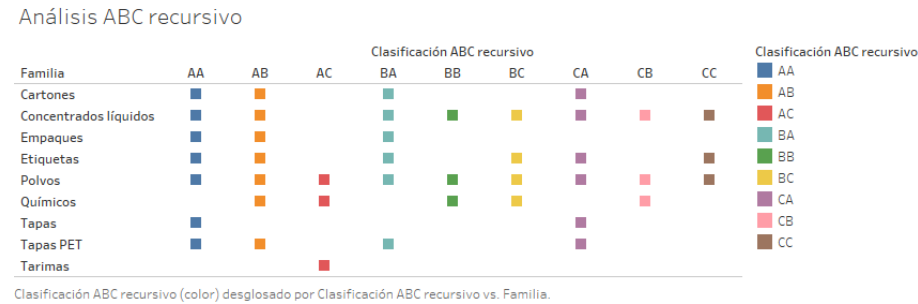


Figura 4.12: Elementos ABC recursivo por familia

La clasificación de materiales AA, representa en total una frecuencia de salida de 4,057 veces, ocupando en total un volumen de $101m^3$, mientras la clasificación CC tiene una frecuencia de salida de 82 veces con un volumen total de $7m^3$, durante el periodo de análisis considerado para este estudio. La Figura 4.11, muestra la información completa obtenida de este análisis.

Con la informacion obtenida en los pasos anteriores, y considerando la relevancia de los materiales AA, se realizó una propuesta de distribución en el almacén (Figura 4.13). Básicamente el arreglo fue sugerido por la empresa, dando prioridad en las ubicaciones a aquellos materiales con mayor impacto en las variables de PF y VL. Es importante aclarar que para esta propuesta, se incluyó una nueva distribución de materiales, conforme a las necesidades de espacios y planes de expansión de la empresa.

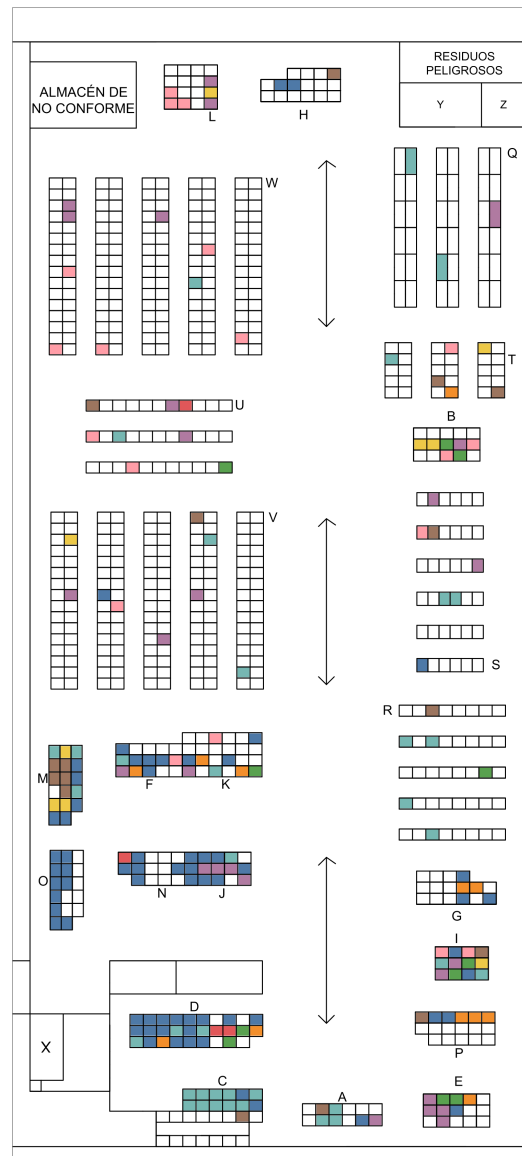


Figura 4.13: Distribución propuesta con base en análisis ABC recursivo

Esta nueva distribución permite mejorar la identificación de los materiales, además de reducir las distancias de traslado en aquellos casos de materiales con alta frecuencia de recolección ya que se ubicaron en posiciones estratégicas para minimizar los recorridos desde el almacén hasta el área de producción. Por ejemplo, las ubicaciones delimitadas con D se posicionaron cerca de la salida del almacén, considerando que en éstas se encuentran materiales con clasificación AA, por lo cual existe una alta demanda.

4.4.2. Trabajo futuro

Con la información obtenida del análisis ABC y como trabajo futuro, se podrá realizar un modelo logístico para la administración de almacén que considere la optimización de distancia de traslado y rutas de recolección más eficientes. La empresa también ha determinado que es posible realizar un tablero de control dinámico con la información de las características de los materiales, mejorando la disponibilidad y visibilidad de los mismos.

4.5. Discusiones

Debido a que, por lo general, un inventario mantiene un alto número de unidades en existencia de diversos materiales, no es factible estudiar sus componentes como unidades individuales, por lo que deben ser agrupados en función de sus características para promover el cumplimiento de políticas y estrategias de control. La metodología del análisis ABC junto el principio de Pareto, prioriza a los elementos relativamente pequeños, pero con una representación significativa de una variable. Su aplicación conduce a la optimización en la administración de inventarios. El almacén es un componente importante en la cadena de suministro, debido a razones que incluyen, entre otras, la fluctuación de la demanda y el servicio de valor agregado hacia el cliente. El espacio, tiempo y costos son pilares para medir la eficiencia en el almacenamiento. Al optimizar la administración de los inventarios, se minimizan los costos y tiempo. Con esta propuesta, fue posible implementar una metodología para la identificación y ubicación óptima de los materiales, sin la necesidad de sistemas de información costosos, con un enfoque en las características y factores que afectan a las operaciones de preparación de pedidos. La elección de las variables para los criterios de clasificación es arbitraria dependiendo del giro del negocio, la experiencia del analista, o la necesidad que amerite la toma de acciones.

Capítulo 5

Caso de estudio - Simulación de rutas validación de modelo

5.1. Introducción

En los capítulos previos se mencionó la utilidad de un modelo matemático que permite analizar las distancias entre los artículos en el almacén con el propósito de determinar la ubicación óptima del punto de recolección que minimice la distancia total recorrida cuando sea procesada la orden de 20 artículos (Capítulo 3) así mismo, empleando el análisis ABC recursivo se obtuvieron resultados con lo que se identificaron en categorías y priorizaron a los materiales en almacén a fin de conformar una nueva distribución física sustentada en los criterios de frecuencia de salida y volumen por tarima con el objetivo de reducir la trayectoria total cuando se recolectan los artículos que conforman el lote (Capítulo 4).

En el presente caso de estudio, se muestra la metodología para realizar un modelo virtual del almacén y su respectiva simulación cuando se procesan 10 órdenes aleatorias de 20 materiales cada una y los artículos son recolectados para dirigirse al punto de recolección en dos escenarios: (1) La distribución actual y (2) la distribución propuesta, lo anterior con la finalidad de comparar las distancias resultantes entre ambas distribuciones y validar que la distribución propuesta reduce la distancia de traslado para el procesamiento de órdenes. Para realizar el modelo de simulación se utilizó el software de Diseño Asistido por Computadora AutoCAD y el software de simulación FlexSim.

La simulación permite obtener resultados más precisos con base a las distancias recorridas por el equipo de transporte cuando se procesa una orden, ya que considera a los elementos físicos como racks y muros delimitantes que se encuentran en el espacio, logrando que los movimientos sean más naturales y semejantes a la realidad de la distribución del almacén en sus distintos escenarios.

White (2019) define a la simulación como el proceso de experimentación con una entidad o modelo que representa un elemento real con un fin o propósito definido, mismo que imita algún aspecto destacado del comportamiento del sistema en análisis y permite modificar parámetros para inferir su comportamiento, por lo que la simulación se ha convertido en una poderosa herramienta que complementa el aprendizaje, la resolución de problemas y el diseño.

Semini et al. (2006) postulan cuatro motivos principales por los que la resolución de problemas mediante la simulación puede ayudar a la toma de decisiones en temas de logística para las industrias manufactureras:

1. Un modelo de simulación permite entender de manera sencilla los elementos que componen el sistema de estudio y su comportamiento general bajo ciertos cambios sin influir en el elemento físico real.
2. El hecho de realizar un modelo para simular puede revelar o mostrar con mayor claridad las relaciones entre sus elementos además de proveer una manera sistemática para analizar la situación y favorecer la solución de problemas.
3. Un modelo de simulación puede facilitar la comunicación y brindar una base para la discusión de alternativas para solucionar diversas situaciones.
4. Permite establecer hipótesis sobre el cambio de variables para probar desde diferentes perspectivas los posibles efectos y variedad de escenarios sin realizar cambios en el sistema real.

5.2. Metodología

Se utilizó el programa AutoCAD para generar los planos de la distribución actual y la distribución propuesta presentada con anterioridad en el Capítulo 4. En la Figura 5.1 se muestra la metodología empleada para generar el modelo y su posterior análisis.

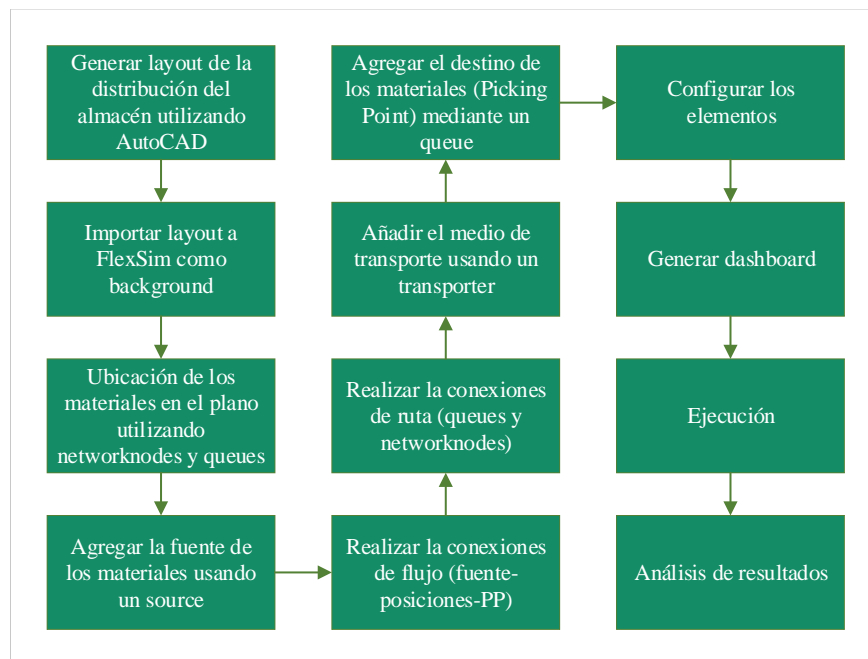


Figura 5.1: Metodología empleada para la elaboración de la simulación

Los elementos utilizados para realizar el modelo se enlistan y describen a continuación:

Source Su función es crear elementos de flujo. Para este estudio de caso dichos elementos cumplen la función de los artículos a procesar y se representan como cajas con colores asignados según su clasificación ABC.

Queue Almacena elementos de flujo hasta que se puedan enviar a otro objeto. En el modelo se representan como tarimas de madera colocadas en la ubicación perteneciente a cada material resguardando a los elementos originados del source así como un queue que cumple la función del punto de recolección.

Transporter Sirve de medio de transporte para los artículos. Es la unidad dónde se almacenan los datos como objeto de análisis y está representado gráficamente como un montacargas.

NetworkNode Permite crear las rutas por las cuales circulan los objetos o artículos hasta el punto de recolección como destino final.

5.2.1. Elaboración del modelo en FlexSim: Pasos y configuraciones

1. Crear una nueva hoja de trabajo en FlexSim como un nuevo modelo.
2. Agregar el plano elaborado en AutoCAD en formato DWG como background y escalar a 1:1 en metros, posteriormente seleccionar las capas que conforman la distribución y cambiar su color a negro, la vista actual debe asemejarse a la Figura 5.2.

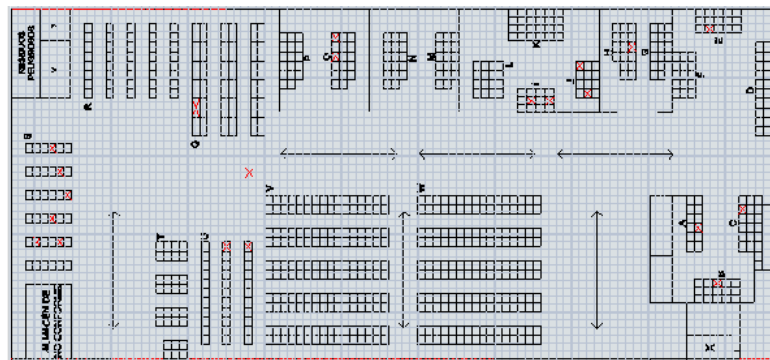


Figura 5.2: Ejemplo de importación de plano DWG a FlexSim

3. Seleccionar de la librería y colocar en la ubicación correspondiente según la distribución: 1 source, 21 queues y 1 transporter.
4. Para que la fuente de los materiales genere 1 material por tarima en un mismo momento, se debe configurar el source como se muestra en la Figura 5.3.

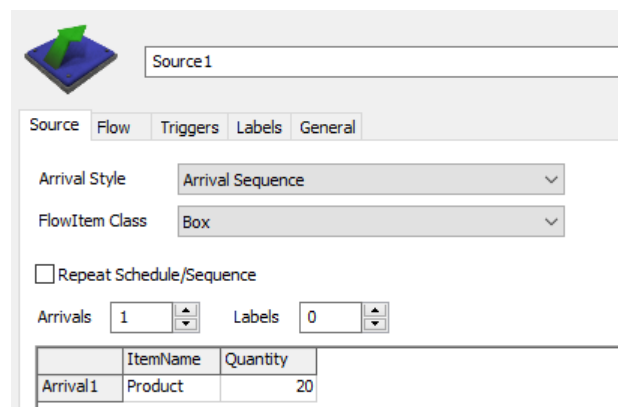


Figura 5.3: Configuración para elemento source FlexSim

5. En la Figura 5.4 se muestra cómo configurar los 20 queues que representan las tarimas con una capacidad máxima de 1 material y el queue que identifica al punto de recolección con un capacidad máxima de 20 elementos.

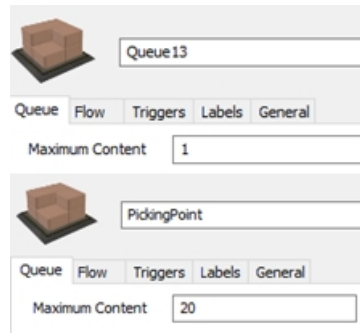


Figura 5.4: Configuración para elemento queue FlexSim

6. Cada queue que representa una tarima se configura para asignar un color dependiendo la clasificación ABC del artículo siguiendo la escala de colores mostrada en la Figura 5.5.

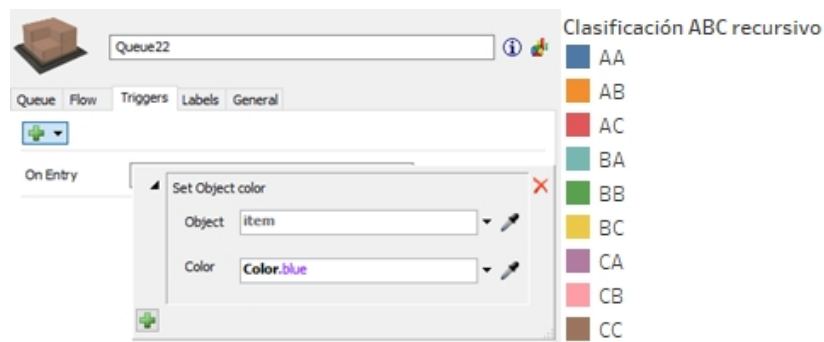


Figura 5.5: Configuración elemento queue para asignación de color ABC por artículo FlexSim

7. El elemento transporter se configura a una velocidad máxima de $2.7 \frac{m}{s}$ para asegurar que se respeta el límite máximo establecido por la empresa de $10 \frac{km}{h}$, posteriormente se añade una distribución normal para el tiempo de carga (load time) con una media de 5 minutos (300 segundos) y una desviación estandar igual a 1 minuto (60 segundos) como se aprecia en la Figura 5.6.

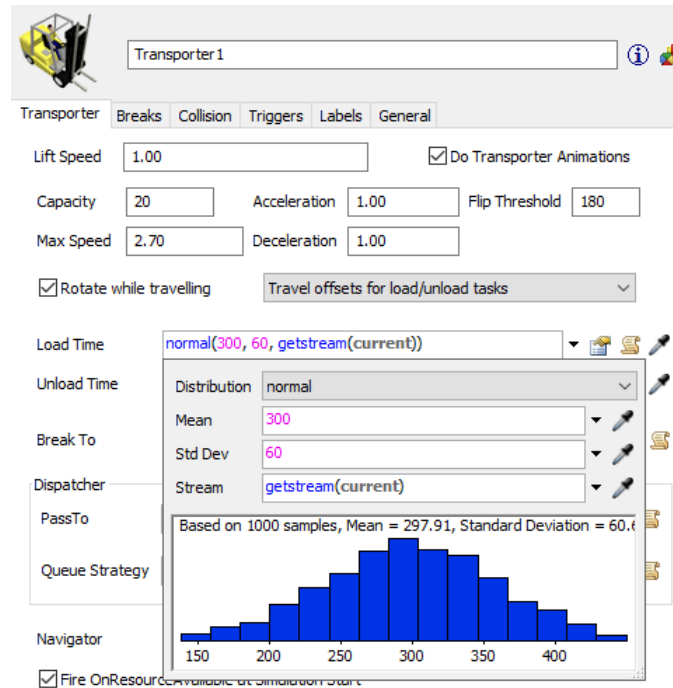


Figura 5.6: Configuración para elemento queue de FlexSim

8. Se realizan las siguientes conexiones: (A) Del source a cada tarima como objeto, (B) de cada tarima al punto de recolección como objeto y (C) de cada tarima al transporter como puerto central.
9. Se añaden tantos networknodes como sean necesarios para formar la ruta que conecta a las tarimas y al punto de recolección buscando respetar las limitaciones establecidas por los objetos físicos como racks y muros delimitantes como se observa en la Figura 5.7, a continuación se conecta el transporter a cualquier nodo perteneciente a la red como objeto.

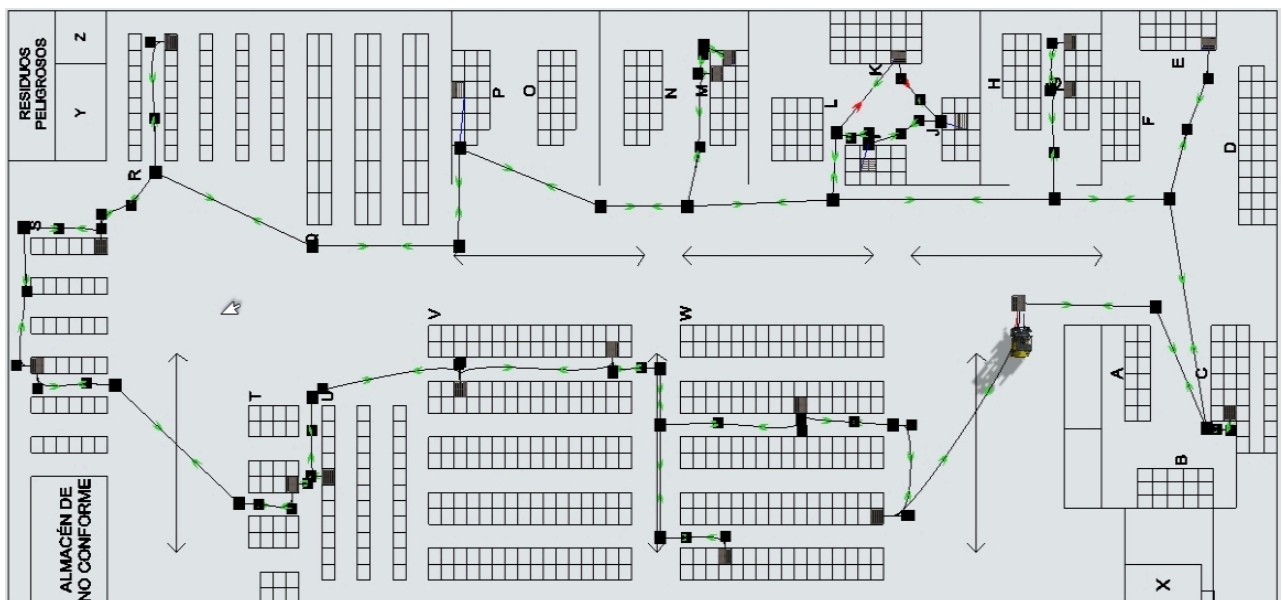


Figura 5.7: Ejemplo de distribución con las configuraciones presentadas

10. En el apartado de dashboard se crea un tablero que muestre la distancia total de la trayectoria (Total Travel), el contenido del transporter al pasar el tiempo (Content VS Time) y una gráfica de barras que muestre el porcentaje de tiempo en espera, cargando, viajando vacío y viajando con contenido como se aprecia en la Figura 5.8.

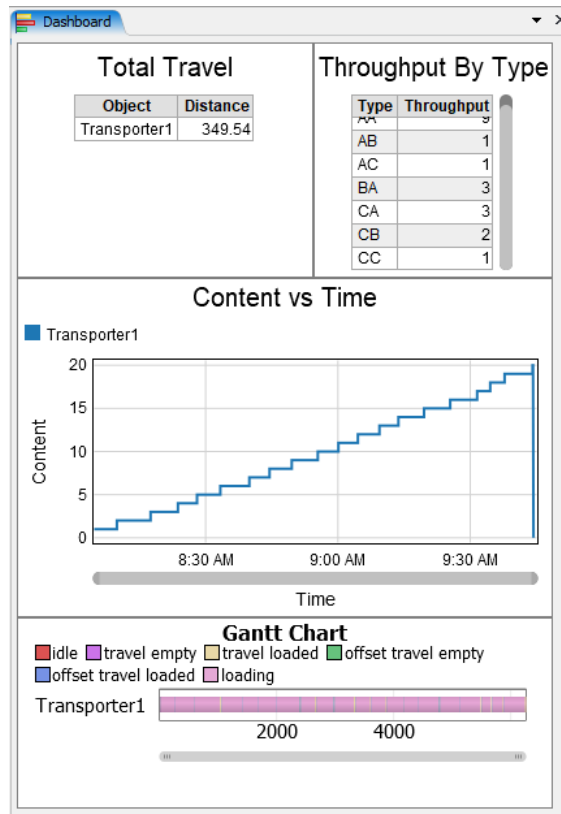


Figura 5.8: Ejemplo de tablero en FlexSim

5.3. Resultados

Los productos obtenidos se conforman por la simulación de 10 lotes en 2 escenarios (la distribución actual y la propuesta). Los elementos que conforman cada lote, así como sus representaciones gráficas pueden ser consultados en los Apéndices B y C respectivamente.

A continuación, se presenta la comparación entre la simulación de distribuciones para el lote 7, mismo que obtuvo una mayor reducción de distancia al procesar los elementos que componen la orden.

En la Figura 5.9 se muestra el procesamiento para el lote 7 en la distribución actual, misma que necesita aproximadamente 1 hora con 45 minutos en total para procesar la orden considerando los tiempos de carga en una distribución de probabilidad normal y una velocidad máxima de $2.7 \frac{m}{s}$ para el montacargas, por lo que la trayectoria total a recorrer es de 475.49 metros con un tiempo de recorrido de 231.29 segundos.

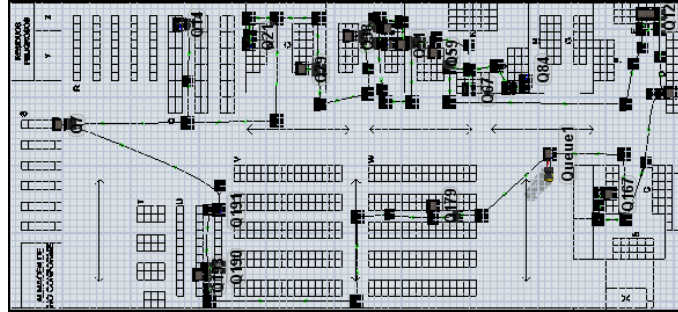


Figura 5.9: Modelo lote 7 en distribución actual

Cuando se procesa el mismo lote en la distribución propuesta como se puede apreciar en la Figura 5.10, la ruta se conforma por una distancia total de 392.78 metros, lo que representa una reducción del 17.5% en el desplazamiento que realiza el montacargas, siendo así que el tiempo de recorrido se iguala a 200.75 segundos y el tiempo total para procesar la orden considerando los tiempos de carga es 1 hora con 44 minutos.

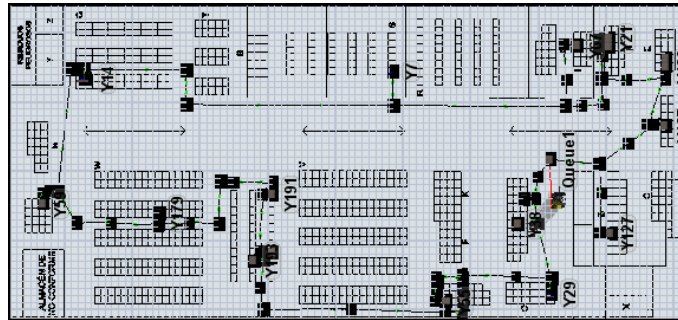


Figura 5.10: Modelo lote 7 en distribución propuesta

En la Tabla 5.1 se muestran los resultados obtenidos para los 10 lotes cuando se procesan en la distribución actual con las configuraciones anteriormente mencionadas.

Tabla 5.1: Resultados de las simulaciones de 10 lotes en la distribución actual

| No. de lote | Distancia (m) | Tiempo de recorrido (s) | Tiempo total (s) |
|-------------|---------------|-------------------------|------------------|
| 1 | 356 | 177 | 6252 |
| 2 | 321 | 165 | 6241 |
| 3 | 334 | 168 | 6244 |
| 4 | 335 | 169 | 6245 |
| 5 | 330 | 162 | 6237 |
| 6 | 463 | 226 | 6301 |
| 7 | 475 | 231 | 6306 |
| 8 | 403 | 204 | 6279 |
| 9 | 460 | 224 | 6300 |
| 10 | 405 | 205 | 6281 |

Los resultados para el procesamiento de los mismos 10 lotes en la distribución propuesta son mostrados en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Resultados de las simulaciones de 10 lotes en la distribución propuesta

| No. de lote | Distancia (m) | Tiempo de recorrido (s) | Tiempo total (s) |
|-------------|---------------|-------------------------|------------------|
| 1 | 337 | 171 | 6246 |
| 2 | 280 | 150 | 6225 |
| 3 | 322 | 166 | 6241 |
| 4 | 296 | 152 | 6228 |
| 5 | 320 | 162 | 6238 |
| 6 | 405 | 205 | 6281 |
| 7 | 392 | 200 | 6276 |
| 8 | 400 | 203 | 6279 |
| 9 | 411 | 207 | 6283 |
| 10 | 349 | 184 | 6260 |

En la Tabla 5.3 se presenta el análisis donde se observan las diferencias en distancia y tiempo, porcentuales, así como la distribución que reduce la distancia y por lo tanto se considera óptima.

Tabla 5.3: Comparación entre los resultados de la distribución actual y la distribución propuesta

| No. de lote | Diferencia (m) | Diferencia (m %) | Diferencia (s) | Diferencia (s %) | Distribución óptima |
|-------------|----------------|------------------|----------------|------------------|---------------------|
| 1 | 18.19 | 5.1 | 5.7 | 3.2 | Propuesta |
| 2 | 40.3 | 12.5 | 15.6 | 9.4 | Propuesta |
| 3 | 11.51 | 3.4 | 2.4 | 1.4 | Propuesta |
| 4 | 39.11 | 11.6 | 17.1 | 10.1 | Propuesta |
| 5 | 10.33 | 3.1 | 0.3 | 0.2 | Propuesta |
| 6 | 57.39 | 12.4 | 20.4 | 9.0 | Propuesta |
| 7 | 82.71 | 17.5 | 30.5 | 13.2 | Propuesta |
| 8 | 3.19 | 0.8 | 0.6 | 0.3 | Propuesta |
| 9 | 48.97 | 10.6 | 17.0 | 7.5 | Propuesta |
| 10 | 56.35 | 13.9 | 20.9 | 10.1 | Propuesta |

5.4. Discusiones

Un modelo de simulación permite validar la aplicación de técnicas y herramientas para la mejora continua mediante el análisis del comportamiento del sistema virtual cuando se busca modificar variables o parámetros, lo que otorga cierta flexibilidad ya que no implica el uso excesivo de recursos como tiempo o dinero que supone realizar los cambios directamente en el sistema real.

En el caso de estudio se presentó un modelo que integró al análisis ABC recursivo con la verificación de las mejoras propuestas, así como el análisis de datos aleatorios y configuraciones estocásticas, lo que supone una verificación de la efectividad del sistema antes de implementar los cambios en el almacén real.

Los modelos ejecutados consideraron elementos físicos y características del sistema real para otorgar mayor fidelidad en los datos que permitieron validar la distribución propuesta con base en el análisis ABC recursivo como aquella óptima que reduce la distancia recorrida al momento de procesar las órdenes.

Capítulo 6

Conclusiones

Las estrategias de optimización de procesamiento de órdenes aplicadas en este trabajo fueron: A) Ruteo con base al TSP, B) Almacenamiento mediante la asignación de los artículos a ubicaciones estratégicas y C) Agrupación a través del análisis ABC.

La metodología del análisis ABC permitió identificar a los materiales en inventario por su nivel de uso y espacio ocupado, igualmente determinó a aquellos SKU con mayor significancia, dando como resultado una nueva base de datos jerarquizada bajo el principio de Pareto, lo que contribuyó a establecer el fundamento para reconocer las agrupaciones prioritarias y determinar la nueva distribución del almacén con base en éstas.

El análisis ABC recursivo presentó la ventaja de adaptarse a la variables cuantitativas que se consideraron de mayor impacto para el procesamiento de pedidos, sin embargo, el uso de este análisis supone marginar a un porcentaje de los artículos clasificándolos como triviales y se debe reconocer que existe una oportunidad de mejora para éste grupo en específico.

El modelo de simulación virtual, aportó el medio para evaluar y validar la distribución propuesta presentada, ya que se comparó ante la distribución actual. Los resultados muestran los porcentajes de reducción en tiempo y distancia para 10 lotes de 20 artículos cada uno, demostrando que la distribución propuesta optimiza el procesamiento de pedidos.

La principal utilidad de la simulación radicó en la capacidad del modelo de simulación para tomar en cuenta una distribución de probabilidad normal en los tiempos de carga y la flexibilidad para establecer rutas de recolección que consideren los elementos físicos como racks y muros delimitantes. Una desventaja encontrada durante la realización del modelo es que requiere de bastante tiempo para realizar la configuración y enlace de elementos en el software, de igual manera, la acción de modelar puede variar según la percepción del analista y es recomendable documentar los cambios en un registro histórico.

La aplicación de éstas metodologías permitieron obtener un diagnóstico sobre el estado del almacén y tomar decisiones a nivel operativo con la finalidad de aumentar el nivel de servicio al cliente mediante la reducción de distancias de desplazamiento cuando se procesan las órdenes, sin embargo, el dinamismo del medio competitivo puede provocar variación en la demanda, ocasionando obsolescencia de los métodos actuales de operar y que las mejoras no sean universales para toda orden, dependiendo así de la mejora continua para la mantener las ventajas competitivas.

Bibliografía

- Adelkovic, A. and Radosavljevic, M. (2018). Improving order-picking process through implementation of warehouse management system. *Strategic Management*, 23(2):3–10.
- Amaya Leal, J. and Vilorio Nuñez, C. (2014). *Diseño de cadena de suministros resilientes*. Universidad del Norte.
- Aqlan, F. (2017). Dynamic clustering of inventory parts to enhance warehouse management. *European J. of Industrial Engineering*, 11(4):469.
- Arada, M. (2019). *Optimización de la cadena logística*. Paraninfo.
- Asari, S., Kaneshiro, T., and Hosoda, T. (2005). *Transportation management system*. Google Patents.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. Pearson educación.
- Blackstone, J. (2008). APICS Dictionary—The Standard for Excellence in the Operations Management Profession. *APICS—The Association of Operations Management Dictionary*, pages 1–156.
- Blanco, C. and Ramírez, S. M. (2009). La importancia económica de los almacenes y los almacenes generales de depósito. *comercio exterior*, 59(10).
- Bohórquez, C. E. D. and Hernández, J. A. C. (2013). Decisiones fundamentales para estudiar el proceso de alistamiento de pedidos: revisión de literatura. *Gerencia tecnológica informática*, 12(34):17–28. Publisher: Universidad Industrial de Santander.
- Bowersox, D., Colss, D., and Cooper, M. (2007). *Administración y Logística en la cadena de suministros. México: Segunda Edición*. Editorial McGraw–Hill. Interamericana Editores, SA.
- Cano, J. A., Correa-Espinal, A. A., and Gómez-Montoya, R. A. (2018). Solución del Problema de Conformación de Lotes en Almacenes utilizando Algoritmos Genéticos. *Información tecnológica*, 29(6):235–244.
- Cardona, L. F., Rivera, L., and Jairo Martínez, H. (2016). Analytical Optimization for the Warehouse Sizing Problem Under Class-Based Storage Policy. *Ingeniería y Ciencia*, 12(24):221–248.
- Çelik, M. and 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):888–906.
- Chen, C.-J. (2019). Developing a model for supply chain agility and innovativeness to enhance firms’ competitive advantage. *Management Decision*, 57(7):1511–1534.
- Chopra, S. and Peter, M. (2008). *Administración de la cadena de suministro*. Pearson educación.

- Chu, C.-H. and Chu, Y.-C. (1987). Computerized ABC analysis: The basis for inventory management. *Computers & Industrial Engineering*, 13(1-4):66–70.
- David, F., Pierreval, H., and Caux, C. (2006). Advanced planning and scheduling systems in aluminium conversion industry. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19(7):705–715.
- De Koster, M. B. M., Van der Poort, E., and Wolters, M. (1999). Efficient orderbatching methods in warehouses. *International Journal of Production Research*, 37(7):1479–1504.
- De Santis, R., Montanari, R., Vignali, G., and Bottani, E. (2018). An adapted ant colony optimization algorithm for the minimization of the travel distance of pickers in manual warehouses. *European Journal of Operational Research*, 267(1):120–137.
- Deliktas, D., Ustun, O., and Kiris, S. (2018). Order Picking Problem in a Warehouse with Bi-Objective Genetic Algorithm Approach: Case Study. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 1(19):69–77.
- Ernst, R. and Cohen, M. A. (1990). Operations Related Groups (ORGs): A Clustering Procedure for Production/Inventory Systems. *Journal of Operations Management*, 9(4):25.
- Espinoza, M., Aguilar, A., and Moras, C. (2016). DISEÑO DE INSTALACIONES Y ASIGNACIÓN DE PRODUCTOS CON ALGORITMOS GENÉTICOS PARA UNA EMPRESA CAFETALERA. page 14.
- Fumi, A., Scarabotti, L., and Schiraldi, M. M. (2013). The Effect of Slot-Code Optimization in Warehouse Order Picking. *International Journal of Engineering Business Management*, 5:20.
- Granlund, A. and Wiktorsson, M. (2014). Automation in internal logistics: strategic and operational challenges. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 18(4):538.
- Grosse, E. H. and Glock, C. H. (2015). The effect of worker learning on manual order picking processes. *International Journal of Production Economics*, 170:882–890.
- Grosse, E. H., Glock, C. H., and Neumann, W. P. (2017). Human factors in order picking: a content analysis of the literature. *International Journal of Production Research*, 55(5):1260–1276.
- Guo, X., Yu, Y., and De Koster, R. B. (2016). Impact of required storage space on storage policy performance in a unit-load warehouse. *International Journal of Production Research*, 54(8):2405–2418.
- Hähnel, D., Burgard, W., Fox, D., Fishkin, K., and Philipose, M. (2004). Mapping and Localization with RFID Technology. In *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, volume 1, pages 1015–1020.
- Heizer, J. and Render, B. (2009). *Administracion de Operaciones Produccion y Cadena de Suministro*. Mexico: Prentice Hall.
- Henn, S. and Schmid, V. (2013). Metaheuristics for order batching and sequencing in manual order picking systems. *Computers & Industrial Engineering*, 66(2):338–351.
- Huang, Q. and Kim, R. (2019). Capital structure decisions along the supply chain: Evidence from import competition. *Journal of International Business Studies*, 50(6):873–894.
- Huiskonen, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International Journal of Production Economics*, 71(1-3):125–133.

- ICIL (2016). Características de la Logística Interna.
- Ishizaka, A., Lolli, F., Balugani, E., Cavallieri, R., and Gamberini, R. (2018). DEASort: Assigning items with data envelopment analysis in ABC classes. *International Journal of Production Economics*, 199:7–15.
- Khojasteh, Y. and Son, J.-D. (2016). A travel time model for order picking systems in automated warehouses. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(5-8):2219–2229.
- Kofler, M. (2015). *Optimising the storage location assignment problem under dynamic conditions*. PhD Thesis.
- Kurwakumire, E., Coetzee, S., and Schmitz, P. (2020). Towards monitoring and managing the production of cadastral information in land information infrastructures using supply chain mapping and the Supply Chain Operations Reference (SCOR) model. *South African Journal of Geomatics*, 9(2):16.
- Li, Z., Wu, X., Liu, F., Fu, Y., and Chen, K. (2019). Multicriteria ABC inventory classification using acceptability analysis. *International Transactions in Operational Research*, 26(6):2494–2507.
- Martínez, L. and Kadi, O. E. (2018). Logística Integral y Calidad Total, Filosofía de Gestión Organizacional orientadas al cliente. page 33.
- Mehdizadeh, M. (2020). Integrating ABC analysis and rough set theory to control the inventories of distributor in the supply chain of auto spare parts. *Computers & Industrial Engineering*, 139:105673.
- Min, H. and Yu, W. B. V. (2008). Collaborative planning, forecasting and replenishment: demand planning in supply chain management. *International Journal of Information Technology and Management*, 7(1):4.
- Pazour, J. A. and Carlo, H. J. (2015). Warehouse reshuffling: Insights and optimization. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 73:207–226.
- Petersen, C. G., Siu, C., and Heiser, D. R. (2005). Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(10):997–1012.
- Pinheiro de Lima, O., Breval Santiago, S., Rodríguez Taboada, C. M., and Follmann, N. (2017). Una nueva definición de la logística interna y forma de evaluar la misma. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(2):264–276.
- Puentes, H. R. Á. (2014). ELEMENTOS BASICOS DE LOGISTICA. SOPORTE PARA LAS COOPERATIVAS. 2(1):12.
- Ramma, A., Subramanya, K., and Rangaswamy, T. (2012). Impact of Warehouse Management System in a Supply Chain. *International Journal of Computer Applications*, 54(1):14–20.
- Riveros, D. P. B. and Silva, P. P. B. (2008). Importancia de la administración logística. *Scientia Et Technica*, 1(38).
- Rushton, A., Croucher, P., and Baker, P. (2014). *The handbook of logistics & distribution management*. Kogan Page, London ; Philadelphia, 5th edition edition.
- Schmidtke, N., Behrendt, F., Thater, L., and Meixner, S. (2018). Technical potentials and challenges within internal logistics 4.0. In *2018 4th International Conference on Logistics Operations Management (GOL)*, pages 1–10, Le Havre. IEEE.
- Semini, M., Fauske, H., and Strandhagen, J. (2006). Applications of Discrete-Event Simulation to Support Manufacturing Logistics Decision-Making: A Survey. In *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, pages 1946–1953, Monterey, CA, USA. IEEE.

- Tejero, J. J. A. (2008). *Almacenes: Análisis, diseño y organización*. ESIC Editorial.
- Teunter, R. H., Babai, M. Z., and Syntetos, A. A. (2009). ABC Classification: Service Levels and Inventory Costs: ABC Classification. *Production and Operations Management*, 19(3):343–352.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., and Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning*. John Wiley & Sons.
- Umble, E. J., Haft, R. R., and Umble, M. (2003). Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors. *European Journal of Operational Research*, 146(2):241–257.
- van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A., and de Koster, R. B. (2018). Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European Journal of Operational Research*, 267(1):1–15.
- van Kampen, T. J., Akkerman, R., and Pieter van Donk, D. (2012). SKU classification: a literature review and conceptual framework. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(7):850–876.
- Venkatasubramony, R. and Adil, G. K. (2017). Design of an order-picking warehouse factoring vertical travel and space sharing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(5-8):1921–1934.
- Waller, M., Johnson, M. E., and Davis, T. (1999). Vendor-managed inventory in the retail supply chain. *Journal of business logistics*, 20:183–204. Publisher: COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT.
- White, P. (2019). K. Preston White Jr. Technical report. type: dataset.
- Zhang, R.-Q., Wang, M., and Pan, X. (2019). New model of the storage location assignment problem considering demand correlation pattern. *Computers & Industrial Engineering*, 129:210–219.

Parte I

Anexos

Anexo A

Mapeo de procesos

A.1. Diagrama SIPOC por proveedor

Figura A.1: Mapeo de procesos 1

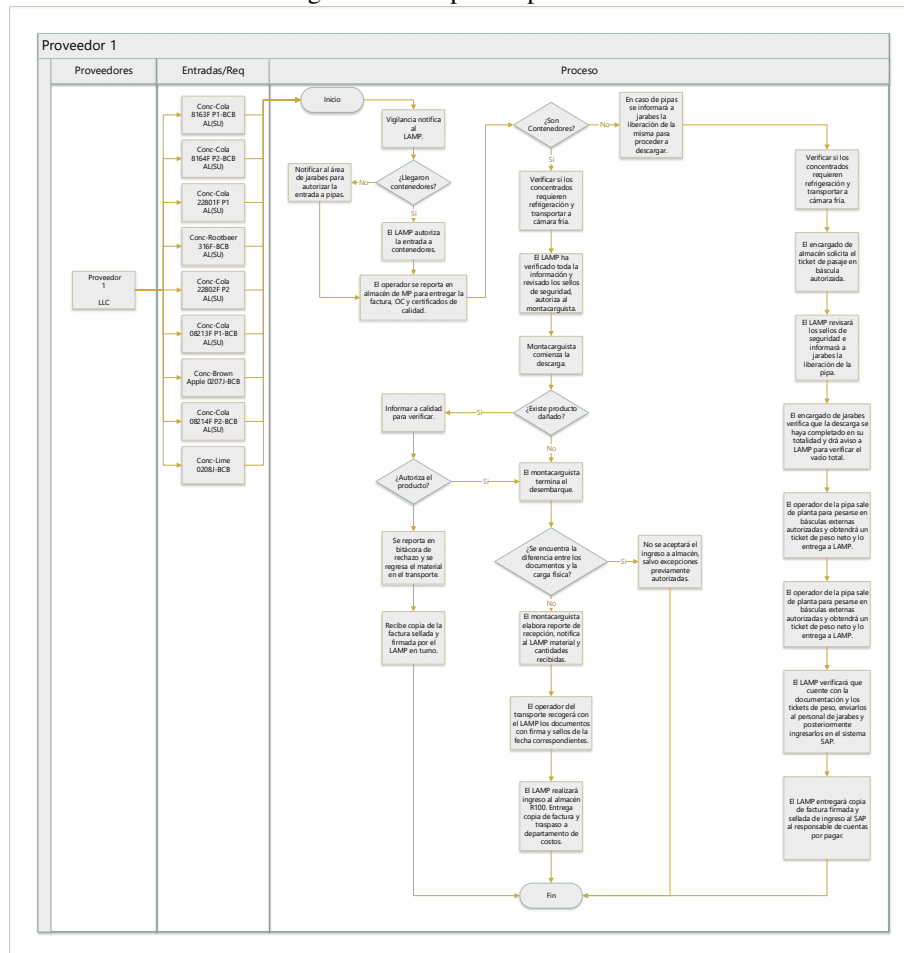


Figura A.2: Mapeo de procesos 2

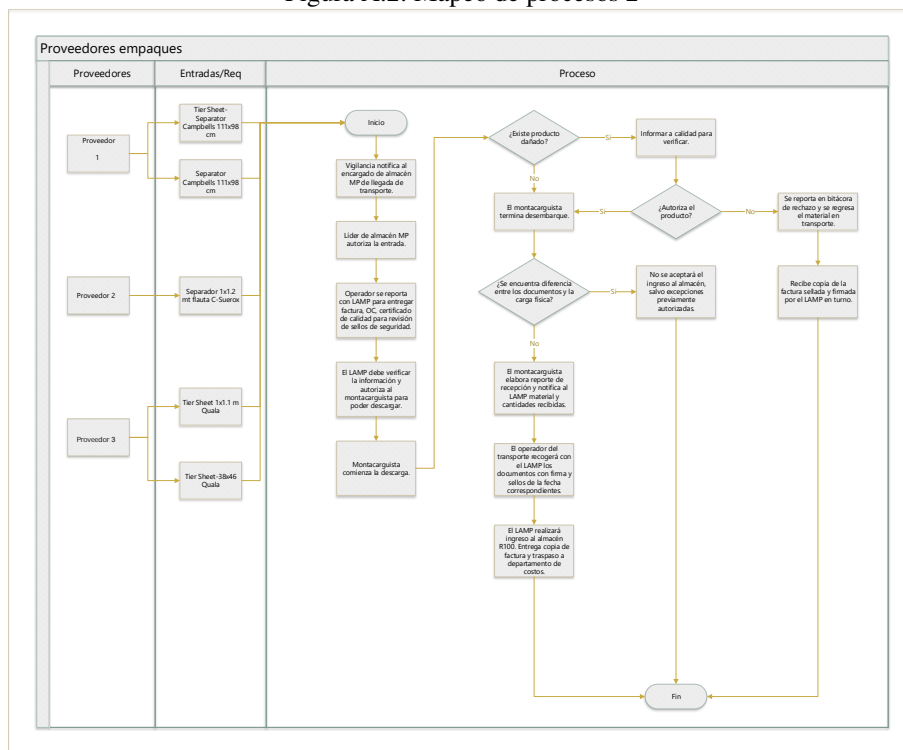
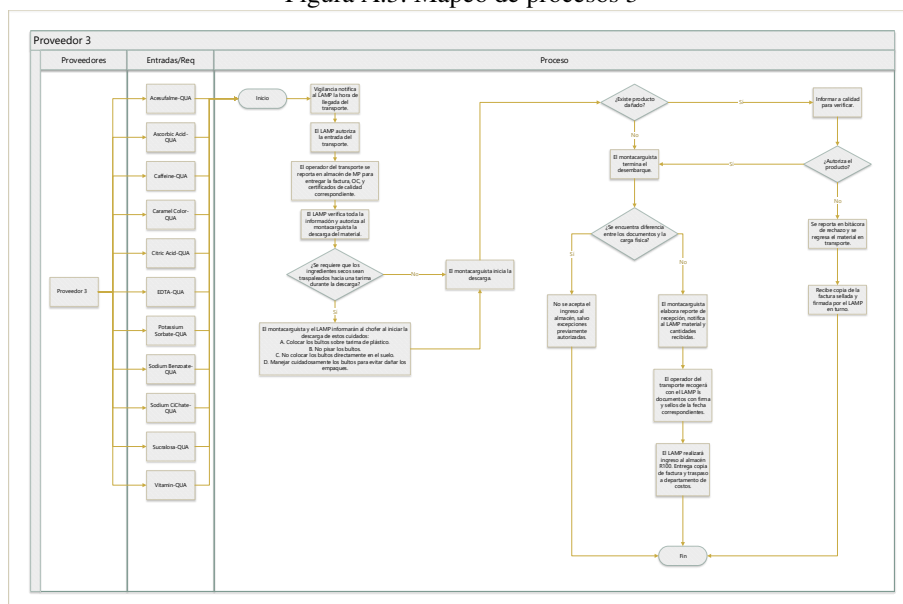


Figura A.3: Mapeo de procesos 3



Anexo B

Conformación de lotes aleatorios

B.1. SKU y clasificación ABC por cada lote

Tabla B.1: Elementos que conforman el lote aleatorio 1

| No. | SKU | Clasificación ABC | Ubicación |
|-----|-------------------|-------------------|-----------|
| 1 | EX018214F | AA | P35-1 |
| 2 | SH247 | AA | D6-3 |
| 3 | LB0502400322501 | AA | M4-3 |
| 4 | AD000027 | AA | P2-1 |
| 5 | EX2CSODCIT | AB | G2-2 |
| 6 | ST26 | AB | D8-3 |
| 7 | EX5OGLMA002 | AB | K2-1 |
| 8 | PT4400M1 | AB | P47-2 |
| 9 | S203 | AC | D4-2 |
| 10 | PA51 | AC | N1-1 |
| 11 | AD000022 | AC | P23-4 |
| 12 | CL0079-2 | BA | P37-4 |
| 13 | EX5OGLFK002 | BA | K4-1 |
| 14 | EX4L90010188 | BB | B2-1 |
| 15 | EX5MPOTASSIUMSORB | BB | P32-2 |
| 16 | S232 | BC | P12-14 |
| 17 | LB0525485266801 | BC | M6-2 |
| 18 | EN628C001 | CA | E2-3 |
| 19 | EX93H50821 | CB | F1-2 |
| 20 | AD000016 | CC | H6-3 |

Tabla B.2: Elementos que conforman el lote aleatorio 2

| No.1 | SKU | Clasificación ABC | Ubicación |
|------|-----------------|-------------------|-----------|
| 1 | CLA721361 | AA | F4-2 |
| 2 | SH359 | AA | D8-1 |
| 3 | EX2CGUARANA | AA | O6-1 |
| 4 | LB0502400322901 | AA | P13-9 |
| 5 | EX5ONUTRAMIX | AB | K5-2 |
| 6 | ST26 | AB | D8-3 |
| 7 | AD000506 | AB | P6-1 |
| 8 | PT4400M1 | AB | P47-2 |
| 9 | S201 | AC | D3-2 |
| 10 | PA51 | AC | N1-1 |
| 11 | AD000022 | AC | P23-4 |
| 12 | LB0502400323201 | BA | P22-9 |
| 13 | EX5B573790 | BA | C1-1 |
| 14 | EX01207J | BB | E2-1 |
| 15 | AD3U073430 | BB | P21-1 |
| 16 | AD000395 | BC | B5-2 |
| 17 | LB0017916257401 | BC | M2-1 |
| 18 | EX02KB6676486 | CA | P2-14 |
| 19 | EX93B288 | CB | P3-1-1 |
| 20 | EX5MSTEVIASG95 | CC | I1-3 |

Tabla B.3: Elementos que conforman el lote aleatorio 3

| No. | SKU | Clasificación ABC | Ubicación |
|-----|-----------------|-------------------|-----------|
| 1 | EX2CASCORBIC | AA | O1-1 |
| 2 | EX2CSUCRALOSA | AA | N5-2 |
| 3 | EX018164F | AA | D3-1 |
| 4 | AD000009 | AA | J1-1 |
| 5 | EX2CSODCIT | AB | G2-2 |
| 6 | CO38-1 | AB | E4-1 |
| 7 | EX5OGLMA002 | AB | K2-1 |
| 8 | PT4400M1 | AB | P47-2 |
| 9 | S203 | AC | D4-2 |
| 10 | S201 | AC | D3-2 |
| 11 | PA51 | AC | N1-1 |
| 12 | LB0010113507400 | BA | M3-3 |
| 13 | EX5B443990 | BA | C1-2 |
| 14 | EX4L90020204 | BB | B3-2 |
| 15 | EX5OGLNM002 | BB | K1-1 |
| 16 | CO02 | BC | B4-2 |
| 17 | LB0017916257301 | BC | P43-1 |
| 18 | EX4F495410 | CA | P2-13 |
| 19 | EX93SPLENDIA | CB | P39-1 |
| 20 | LB0412203606501 | CC | P17-16 |

Tabla B.4: Elementos que conforman el lote aleatorio 4

| No. | SKU | Clasificación ABC | Ubicación |
|-----|-----------------|-------------------|-----------|
| 1 | SK01 | AA | D8-2 |
| 2 | EX2CEXTRAC3C | AA | O5-1 |
| 3 | EX3U084495 | AA | I2-1 |
| 4 | EX021580897 | AA | A2-1 |
| 5 | EX2CSODCIT | AB | G2-2 |
| 6 | AD000024 | AB | P5-1 |
| 7 | CO38-1 | AB | E4-1 |
| 8 | SH0787422015601 | AB | D1-2 |
| 9 | S203 | AC | D4-2 |
| 10 | S201 | AC | D3-2 |
| 11 | AD000022 | AC | P23-4 |
| 12 | EX020969228 | BA | A4-2 |
| 13 | AD000041 | BA | J3-1 |
| 14 | AD3U073430 | BB | P21-1 |
| 15 | S202 | BB | D3-3 |
| 16 | S232 | BC | P12-14 |
| 17 | AD000395 | BC | B5-2 |
| 18 | CL0080-1 | CA | P40-2 |
| 19 | AD000023 | CB | L2-1 |
| 20 | LB0412203606701 | CC | M3-2 |

Tabla B.5: Elementos que conforman el lote aleatorio 5

| No. | SKU | Clasificación ABC | Ubicación |
|-----|-----------------|-------------------|-----------|
| 1 | PT0010113507401 | AA | N1-2 |
| 2 | SH359 | AA | D8-1 |
| 3 | EX2CEDTA | AA | O3-1 |
| 4 | CLA721368 | AA | H3-2 |
| 5 | EX5ONUTRAMIX | AB | K5-2 |
| 6 | EX2CSODCIT | AB | G2-2 |
| 7 | AD000506 | AB | P6-1 |
| 8 | SH0787422015601 | AB | D1-2 |
| 9 | S203 | AC | D4-2 |
| 10 | PA51 | AC | N1-1 |
| 11 | AD000022 | AC | P23-4 |
| 12 | AD3U081442 | BA | I4-2 |
| 13 | LB0502400353901 | BA | M6-1 |
| 14 | EX01208J | BB | E3-1 |
| 15 | EX5OGLNM002 | BB | K1-1 |
| 16 | LB0017916257301 | BC | P43-1 |
| 17 | LB0017916257401 | BC | M2-1 |
| 18 | AD000430 | CA | J4-3 |
| 19 | EX93CAFFEINE | CB | P8-10 |
| 20 | EX93G171 | CC | P30-6 |

Tabla B.6: Elementos que conforman el lote aleatorio 6

| No. | SKU | Clasificación ABC | Ubicación |
|-----|-----------------|-------------------|-----------|
| 1 | EX018214F | AA | P35-1 |
| 2 | EX2CCARAMEL | AA | G6-1 |
| 3 | AD000013 | AA | G3-1 |
| 4 | EX5OGLMA002 | AB | K2-1 |
| 5 | EX2CSODBENZ | AB | P4-1 |
| 6 | EX5MTS27890 | BA | P7-7 |
| 7 | PT0708470091901 | BA | P18-14 |
| 8 | EX5B443990 | BA | C1-2 |
| 9 | EX2CACESUFALME | BA | P19-2 |
| 10 | S145 | BA | P33-8 |
| 11 | EX5HENHANCER | BB | I2-2 |
| 12 | LB0525485266801 | BC | M6-2 |
| 13 | EN2506 | CA | E1-1 |
| 14 | EX4F495410 | CA | P2-13 |
| 15 | S144 | CA | J3-2 |
| 16 | EX02HI2632614 | CA | P23-5 |
| 17 | EX5MMALICACID | CA | P38-6 |
| 18 | EX93B288 | CB | P3-1-1 |
| 19 | EX5GIBMS498 | CC | M5-1 |
| 20 | LB0615000179601 | CC | P45-4 |

Tabla B.7: Elementos que conforman el lote aleatorio 7

| No. | SKU | Clasificación ABC | Ubicación |
|-----|--------------------|-------------------|-----------|
| 1 | AD3U007430 | AA | J2-3 |
| 2 | LB0502400322501 | AA | M4-3 |
| 3 | EX2CSUCRALOSA | AA | N5-2 |
| 4 | EX018214F | AA | P35-1 |
| 5 | EX2CEXTRAC3A | AA | O1-2 |
| 6 | SH359 | AA | D8-1 |
| 7 | EX2CSODBENZ | AB | P4-1 |
| 8 | AD000024 | AB | P5-1 |
| 9 | LB0502400353901 | BA | M6-1 |
| 10 | EX5MTS27890 | BA | P7-7 |
| 11 | EX020969228 | BA | A4-2 |
| 12 | LB0502400323201 | BA | P22-9 |
| 13 | EX2CGINSENGEXTRACT | BA | P28-6 |
| 14 | AD3U073430 | BB | P21-1 |
| 15 | EX5HBRANDY | BC | L4-2 |
| 16 | EN2512 | CA | E1-2 |
| 17 | EN2529 | CA | E2-2 |
| 18 | EX5MSHMP | CB | I2-3 |
| 19 | AD000380 | CB | P21-8 |
| 20 | EX5GIBMS498 | CC | M4-1 |

Tabla B.8: Elementos que conforman el lote aleatorio 8

| No. | SKU | Clasificación ABC | Ubicación |
|-----|-------------------|-------------------|-----------|
| 1 | PT0339060001201 | AA | N2-2 |
| 2 | EX2CGUARANA | AA | O6-1 |
| 3 | EX2CGREENTEA | AA | O6-2 |
| 4 | AD3UHB014076949 | AA | C5-1 |
| 5 | ENC007 | AA | E3-2 |
| 6 | CLA721374 | AA | F3-2 |
| 7 | EX5OV5MX20284A24 | AA | K6-2 |
| 8 | PT1200M2 | AA | N6-1 |
| 9 | LB0502400322501 | AA | P13-9 |
| 10 | EX5OGLMA002 | AB | K2-1 |
| 11 | S203 | AC | D4-2 |
| 12 | SH244 | BA | F5-2 |
| 13 | EX5MPOTASSIUMSORB | BB | P32-2 |
| 14 | EX3UHB051I83610 | BC | I1-2 |
| 15 | EN2506 | CA | E1-1 |
| 16 | EX5GIBMS055 | CA | L4-3 |
| 17 | CL0080-1 | CA | P40-2 |
| 18 | EX5OGLCC002 | CB | K4-4 |
| 19 | EX81SUCRALSE | CB | L1-2 |
| 20 | LB0615000179001 | CC | M4-2 |

Tabla B.9: Elementos que conforman el lote aleatorio 9

| No. | SKU | Clasificación ABC | Ubicación |
|-----|--------------------|-------------------|-----------|
| 1 | CLA721361 | AA | F4-2 |
| 2 | AD3U072585 | AA | I3-3 |
| 3 | AD3U007034 | AA | N2-1 |
| 4 | EX2CGREENTEA | AA | O6-2 |
| 5 | EX2CSODBENZ | AB | P4-1 |
| 6 | EX5ONUTRAMIX | AB | K5-2 |
| 7 | EX5OBEVCON | BA | P46-2 |
| 8 | LB0502400323201 | BA | P22-9 |
| 9 | EX2CGINSENGEXTRACT | BA | P28-6 |
| 10 | EX5OGLNM002 | BB | K1-1 |
| 11 | EX3UHB051I83610 | BC | I1-2 |
| 12 | EN628C001 | CA | E2-3 |
| 13 | EX5OGLUV002 | CA | K6-1 |
| 14 | EX5MMALICACID | CA | P38-6 |
| 15 | EX5MSHMP | CB | I2-3 |
| 16 | EX5MSODCITRATE | CB | P2-8 |
| 17 | EX8412000063 | CB | B1-2 |
| 18 | EX5RTS08966 | CB | P1-1-1 |
| 19 | LB0LB0930557101 | CC | M5-2 |
| 20 | EX02MP2732414 | CC | A5-2 |

Tabla B.10: Elementos que conforman el lote aleatorio 10

| No. | SKU | Clasificación ABC | Ubicación |
|-----|------------------|-------------------|-----------|
| 1 | CLA721374 | AA | F3-2 |
| 2 | CLC160261 | AA | F2-2 |
| 3 | EX018164F | AA | D3-1 |
| 4 | TS07 | AA | D9-2 |
| 5 | EX2CCARAMEL | AA | G6-1 |
| 6 | TS20 | AA | D10-2 |
| 7 | PT1200M4 | AA | N6-2 |
| 8 | EX2CEXTRAC3C | AA | O5-1 |
| 9 | EX5OV5MX20284A24 | AA | K6-2 |
| 10 | CL8290073 | AB | F4-1 |
| 11 | AD000022 | AC | P23-4 |
| 12 | EX018213F | BA | P31-8 |
| 13 | LB0502400323001 | BA | P31-6 |
| 14 | CL0079-2 | BA | P37-4 |
| 15 | S144 | CA | J3-2 |
| 16 | EX5GIBMS055 | CA | L4-3 |
| 17 | CL0080-1 | CA | P40-2 |
| 18 | EX93SPLENDIA | CB | P39-1 |
| 19 | EX5MMXFT163465 | CB | I4-3 |
| 20 | LB0412203606501 | CC | P17-16 |

Anexo C

Simulaciones

C.1. Modelos en la distribución actual

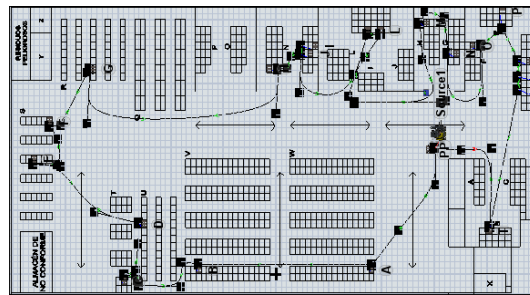


Figura C.1: Modelo lote 1 en distribución actual

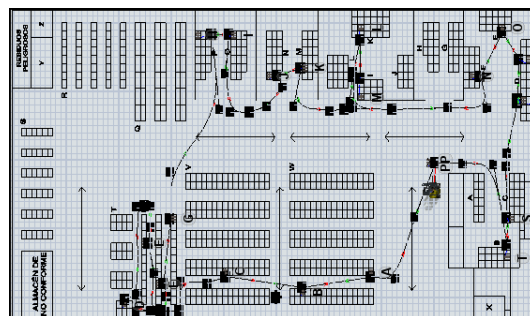


Figura C.2: Modelo lote 2 en distribución actual

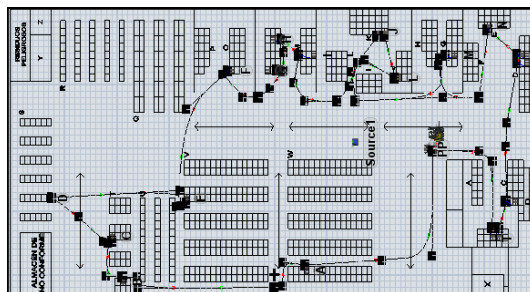


Figura C.3: Modelo lote 3 en distribución actual

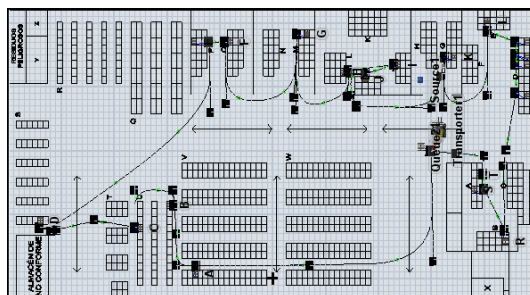


Figura C.4: Modelo lote 4 en distribución actual

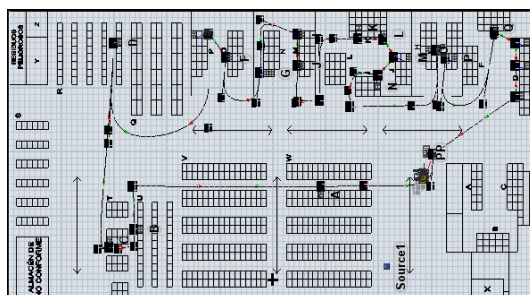


Figura C.5: Modelo lote 5 en distribución actual

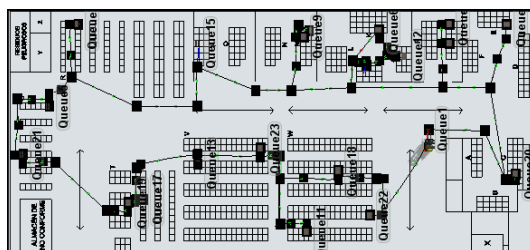


Figura C.6: Modelo lote 6 en distribución actual

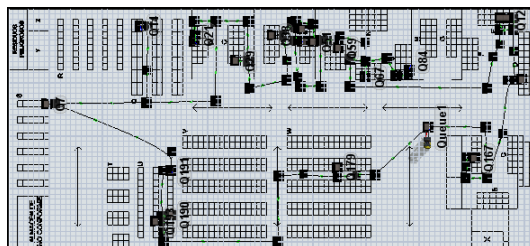


Figura C.7: Modelo lote 7 en distribución actual

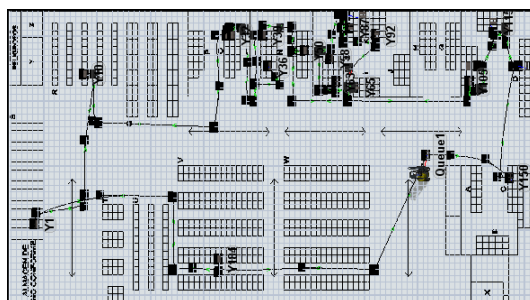


Figura C.8: Modelo lote 8 en distribución actual

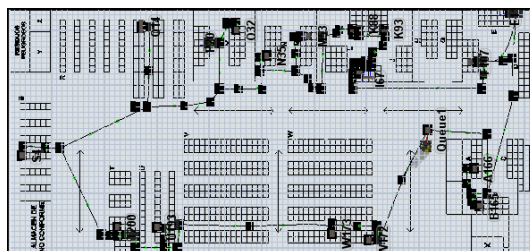


Figura C.9: Modelo lote 9 en distribución actual

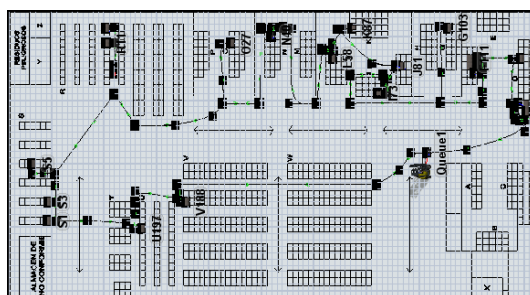


Figura C.10: Modelo lote 10 en distribución actual

C.2. Modelos en la distribución propuesta

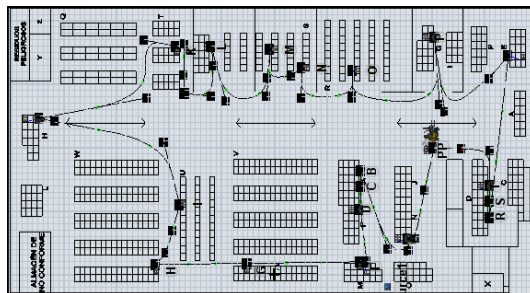


Figura C.11: Modelo lote 1 en distribución propuesta

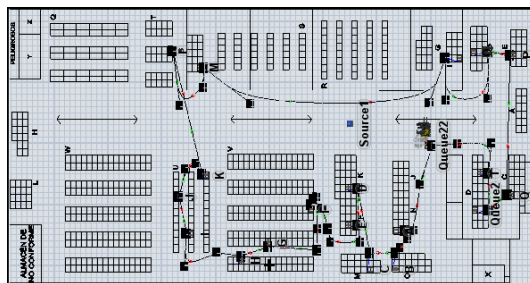


Figura C.12: Modelo lote 2 en distribución propuesta

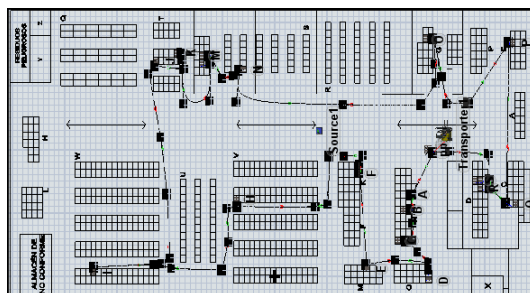


Figura C.13: Modelo lote 3 en distribución propuesta

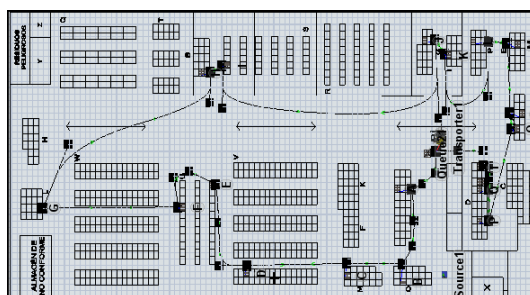


Figura C.14: Modelo lote 4 en distribución propuesta

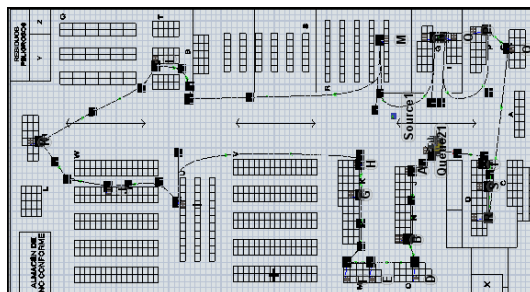


Figura C.15: Modelo lote 5 en distribución propuesta

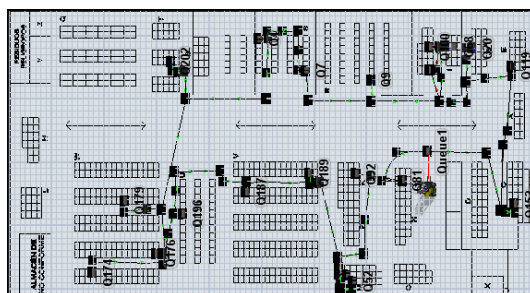


Figura C.16: Modelo lote 6 en distribución propuesta

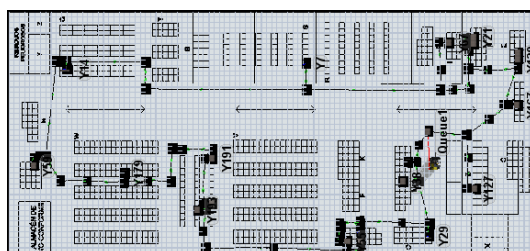


Figura C.17: Modelo lote 7 en distribución propuesta

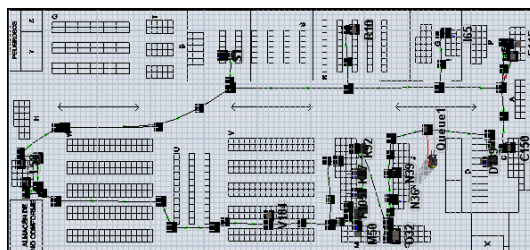


Figura C.18: Modelo lote 8 en distribución propuesta

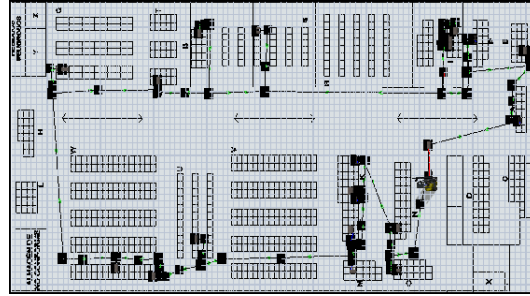


Figura C.19: Modelo lote 9 en distribución propuesta

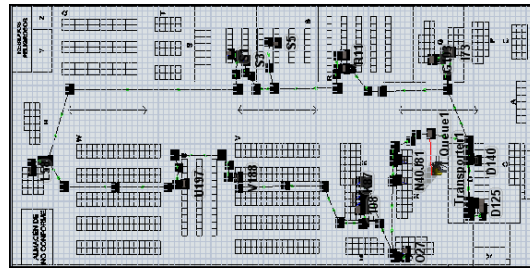


Figura C.20: Modelo lote 10 en distribución propuesta