

Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Ingeniería



Maestría en Ingeniería de la Cadena de Suministro
Trabajo Terminal de Grado

PROPUESTA DE MEJORA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE
LEVANTAMIENTO DE PEDIDOS EN UNA EMPRESA DE REFACCIONES
AUTOMOTRICES

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Presenta:

Ing. Luis Enrique Rivera Mireles

Director: Dr. René Muciño Castañeda

Co-Directora: Dra. Lourdes Loza Hernández

Tutor: Dr. Javier García Gutiérrez

Toluca, México

Marzo, 2024

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABLAS	v
Glosario	vi
Resumen	viii
Abstract.....	x
Introducción.....	11
Problemática	11
Preguntas para el desarrollo del Trabajo Terminal de Grado	12
Objetivos.....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos particulares	13
Hipótesis	13
Justificación	13
Alcances y limitaciones	14
Metodología.....	15
Capítulo 1 Revisión de literatura	17
1.1 Antecedentes teóricos	17
1.2 Almacenes	20
1.2.1 Operaciones de almacén	20
1.2.2 Diseño de almacén.....	21
1.3 Levantamiento de pedidos	25
1.3.1 Estrategias de ruta.....	26
Capítulo 2 Marco teórico.....	28
2.1 Diseño de layout del almacén.....	28

2.1.1 Recolección de datos	28
2.1.2 Análisis de datos	29
2.1.3 Definición del objetivo del almacén	29
2.1.4 Mapeo de actividades en el almacén	30
2.1.5 Unidades de manejo de material en el almacén	31
2.1.6 Análisis de la demanda esperada	32
2.1.7 Análisis de la configuración del equipo de almacén	32
2.1.7 Planeación del espacio requerido.....	32
2.1.8 Preparación de posibles layouts del almacén.....	33
2.1.9 Evaluación de los layouts generados e identificación de la mejor solución	34
2.2 Asignación de productos	36
2.2.1 Políticas de asignación de almacenamiento.....	36
2.2.2 Modelo para la asignación de productos en almacén	38
Capítulo 3 Caso de estudio	41
3.1 Descripción del caso de estudio.....	41
3.2 Definición del objetivo del almacén.....	41
3.3 Mapeo de procesos dentro del almacén.....	42
3.4 Unidades de manejo y equipo para almacenamiento.....	43
3.5 Planeación del espacio requerido	43
3.5.1 Dimensión del almacén.....	44
3.5.2 Productos	45
3.6 Análisis ABC de los productos de la empresa.....	46
3.7 Preparación de posibles layouts del almacén	47
3.7.1 Layout 1	47
3.7.2 Layout 2.....	51
3.8 Asignación de productos a espacios de almacenamiento	55

3.8.1 Construcción del modelo de asignación de espacios dentro del almacén .	59
Capítulo 4 Análisis de resultados	61
4.1 Diseño de layout	61
4.2 Asignación de productos	61
Conclusiones y recomendaciones	69
Recomendaciones	73
Puntos para resaltar.....	75
Referencias	76
Anexos	80
Anexo 1. Modelado en GAMS	80
Anexo 2. Resultados asignación de lugares	81
Anexo 3. Comparación de distancias recorridas en el almacén actual y el propuesto.....	96
Anexo 4. Comparación de tiempo en el proceso de levantamiento de pedidos con el almacén actual y el propuesto.	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Flujo de materiales en almacén.	20
Figura 1.2 Proceso de diseño de un almacén.	23
Figura 1.3 Diagrama de sistema de levantamiento de pedidos.	25
Figura 2.1 Unidades de carga.	31
Figura 2.2 Parámetros de arreglo de almacén.	35
Figura 2.3 Frente de cada producto.	39
Figura 3.1 Organigrama de la empresa.	41
Figura 3.2 Diagrama de proceso en el almacén.	42
Figura 3.3 Layout del almacén.	44
Figura 3.4 Análisis ABC.	47
Figura 3.5 Layout 1.	48
Figura 3.6 Layout 1 división ABC.	49
Figura 3.7 Layout 2.	52
Figura 3.8 Layout 2 división ABC.	53
Figura 3.9 Ejes de desplazamiento dentro del almacén.	58
Figura 3.10 Nomenclatura de espacios dentro del almacén.	58
Figura 3.11 Filas y columnas en el almacén.	59
Figura 4.1 Distribución de productos por clase dentro del almacén	62
Figura 4.2 Distancias recorridas en el layout actual y el propuesto.	65
Figura 4.3 Tiempo promedio para completar los pedidos en segundos.	67

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Dimensionamiento de los productos	45
Tabla 3-2 Análisis ABC	46
Tabla 3-3 Tiempos de entrega y cantidad de productos por proveedor.....	55
Tabla 4-1 Costo anual de manejo por año de cada layout	61
Tabla 4-2 Ejemplo de lista de productos para levantamiento de pedidos.	63
Tabla 4-3 Matriz de distancias para el levantamiento de pedidos en layout actual.....	64
Tabla 4-4 Matriz de distancias para el levantamiento de pedidos en layout propuesto.	64
Tabla 4-5 Comparación de distancias recorridas.....	65
Tabla 4-6 Comparación de tiempos para realizar la recolección de pedidos	67

Glosario

Análisis ABC: Método de clasificación de los productos en función de la frecuencia de movimiento y demanda.

Cantidad Económica de Pedido (EOQ): Cantidad óptima de unidades a pedir para minimizar los costos totales.

Costo de manejo de materiales: Gasto asociado al movimiento y manipulación de unidades de almacenamiento.

Departamento: Sección específica dentro de las organizaciones, cada una designada para un propósito en particular.

Distancia recorrida: Longitud total que se cubre al moverse durante el levantamiento de pedidos.

Frecuencia de acceso: Cantidad de veces que se accede a un producto en un periodo de tiempo determinado.

Frente de estantería: Longitud frontal de los estantes del almacén.

Heurísticos: Métodos basados en la experiencia para encontrar soluciones aproximadas a las soluciones óptimas.

Horizonte de planeación: Período futuro durante el cual se planifica la reposición de los materiales de acuerdo con la demanda prevista.

Inventario de seguridad: Cantidad de inventario que mitiga la incertidumbre en la demanda y los tiempos de reposición.

Islas: Áreas o secciones dentro del almacén las cuales operan de manera independiente.

Layout del almacén: Diseño de la distribución física de los elementos, como son estanterías y pasillos.

Levantamiento de pedidos: Actividad dentro de un almacén en el cual se seleccionan y recopilan los productos solicitados en una orden de pedido específica.

Nivel de servicio: Porcentaje de demanda que se satisface mediante el inventario en existencia, un indicador de la capacidad de la cadena de suministro para cumplir con la demanda.

Política de inventarios: Estrategia para gestionar el inventario, considerando factores como la demanda, tiempo de reposición y nivel de servicio.

Unidades de manejo: Tipos de embalajes utilizados para almacenar y transportar productos dentro del almacén, como tarimas, cajas y productos a granel.

Rotación de productos: Indica la frecuencia con la que los productos son vendidos o utilizados y vuelven al inventario.

PROPUESTA DE MEJORA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LEVANTAMIENTO DE PEDIDOS EN UNA EMPRESA DE REFACCIONES AUTOMOTRICES

Resumen

En este trabajo se aborda el proceso de levantamiento de pedidos en el almacén principal de una empresa dedicada a la comercialización de autopartes ubicada en la ciudad de Toluca, México. El objetivo es optimizar el tiempo y reducir la distancia recorrida en el almacén. Se realiza un análisis del costo promedio anual de la distancia recorrida, considerando dos diseños de distribución propuestos. Además, se implementa un modelo de programación lineal entera que tiene como objetivo la asignación de productos en la estantería del almacén. En primer lugar, se comparan dos posibles layouts del almacén con diferencia en la orientación de la estantería. Para realizar el análisis se propone un punto de comienzo y finalización del proceso de levantamiento de pedidos, la asignación de producto de acuerdo con el análisis ABC y la demanda anual de cada producto. Se considera comparar el costo anual de manejo de los productos en el almacén. El modelo de programación lineal entera considera los siguientes factores: (1) características dimensionales de cada producto, (2) tiempo de reaprovisionamiento de cada producto, (3) inventario de seguridad de cada producto, (4) distancias recorridas a cada uno de los lugares de almacenamiento, (5) frecuencia de acceso a cada producto y (6) costo esperado de viaje. Los resultados del modelo ayudan a determinar el espacio necesario para almacenar el inventario de cada producto para cubrir un horizonte de planeación considerando el tiempo de reabastecimiento que se tiene, además se cuenta con la restricción de no sobrepasar los frentes de los espacios de almacenamiento. En la evaluación de los diseños de distribución propuestos, se determina seleccionar el arreglo que representa la minimización de los costos de operación, basado en la orientación de las estanterías. El modelo de programación lineal entera diseñado para un total de 1,317 números de parte y validado a través de la asignación aleatoria de órdenes de pedido y posteriormente calculadas de forma manual. Los resultados obtenidos muestran un porcentaje de ahorro promedio de un 30% de distancia recorrida en cada pedido, comparado con la situación actual. La asignación de productos con un modelo de programación entera da como resultado la reducción de distancias recorridas en el almacén

al tener los productos acomodados de mayor a menor importancia, además se logra reducir el tiempo en el proceso lo que representa la mejora en el nivel de servicio de la empresa.

Abstract

In this project, the order-picking process is at the central warehouse of an auto parts trading company in Toluca, Mexico. The objective is to optimize time and reduce the distance traveled in the warehouse. An analysis of the average annual cost of distance traveled is carried out, considering two proposed distribution designs. Additionally, an integer linear programming model is implemented with the objective of product allocation on the warehouse shelves. Firstly, two possible warehouse layouts with different shelf orientations are compared. A starting and ending point of the order-picking process is proposed for the analysis, along with product allocation based on ABC analysis and the annual demand of each product. The annual cost of product management in the warehouse is considered for comparison. The Integer Linear Programming (ILP) model considers the following factors: (1) dimensional characteristics of each product, (2) replenishment time for each product, (3) safety inventory for each product, (4) distances traveled to each storage location, (5) frequency of access for each product, and (6) expected traveled cost. The model's results help determine the necessary space to store an inventory of each product to cover a planning horizon, considering the replenishment time. There is also a constraint that restricts exceeding the fronts of storage spaces. In evaluating the proposed distribution designs, the selection is made based on the arrangement that minimizes operational costs, considering the orientation of the shelves. The ILP model included 1,317-part numbers and was solved and validated through random assignment of order requests, which were later manually calculated. The results indicate an average savings of 30% in the distance traveled for each order compared to the current situation.

Introducción

El presente estudio se centra en el almacén central de una empresa comercializadora de autopartes de repuesto para el sistema de suspensión y dirección de un automóvil, la empresa está situada en Toluca, México. La principal actividad es la importación y distribución de sus productos dentro del mercado mexicano.

Problemática

La cadena de suministro enfrenta grandes retos, entre ellos el balance del inventario para cumplir con la demanda del cliente; al no tener disponibilidad de mercancía se produce reducción de ingresos para la empresa. Para proveer los productos en el tiempo y cantidad requerida, cada empresa cuenta con un almacén encargado de mantener los productos hasta su despacho final para su entrega a los clientes.

Los principales problemas que enfrenta un almacén son la falta de espacio para almacenar el producto o tener una porción de espacio sin utilizar. La mejor forma de atacar este problema es optimizando cada espacio dentro del mismo. Además, se encuentran problemas como la falta de organización de la mercancía, donde no se tienen en cuenta las características específicas de cada producto, como su rotación y el desplazamiento eficiente por parte de los operarios.

Por lo tanto, el problema que se resuelve en este Trabajo Terminal de Grado es la optimización en el proceso de levantamiento de pedidos dentro del almacén, reduciendo los costos de operación y optimizando los espacios utilizados para el almacenaje de los productos, además de prevenir errores en el proceso como errores de cantidades surtidas o intercambios entre códigos únicos de almacenamiento.

De acuerdo con Bartholdi y Hackman (2008) el proceso de levantamiento de pedidos representa el 70% del tiempo y el 55% del costo en almacén. Es el proceso más costoso dentro de los almacenes teniendo en cuenta el crucial impacto en el nivel de servicio al cliente (Richards, 2011).

En la problemática se realizó un análisis de datos como: dimensiones de almacén, capacidades de almacenamiento, la demanda histórica y características dimensionales de cada producto.

La metodología para reducir los tiempos en el levantamiento de pedidos está basada en resolver problemas puntuales como diseño de almacén, distribución de productos y métodos heurísticos para el diseño de las rutas cortas.

La compañía en caso de estudio no cuenta con una metodología para el diseño y asignación de los productos que permita optimizar el espacio en el almacén teniendo presente el dimensionamiento de los productos; actualmente realiza sus actividades de almacenamiento de forma intuitiva, esto es, no aplica métodos cuantitativos que le permitan mejorar el diseño y acomodo de los productos, además de optimizar el espacio en el almacén teniendo presente el dimensionamiento de los productos y espacio disponible para ello.

Preguntas para el desarrollo del Trabajo Terminal de Grado

- ¿Es posible realizar un rediseño de layout que permita disminuir la distancia recorrida dentro del almacén?
- ¿Es posible hacer una redistribución de los productos dentro del almacén que mejore el tiempo de surtido de las órdenes de pedido?
- ¿Cuáles son las variables que afectan el tiempo durante el levantamiento de pedidos?

Objetivos

Objetivo general

El principal objetivo de este Trabajo Terminal de Grado es minimizar el tiempo en el proceso de levantamiento de pedidos, a través del rediseño de layout de estantería y la asignación a espacios de almacenaje para cada producto, lo cual implica una reducción en las distancias recorridas en el despacho de órdenes de pedido.

Objetivos particulares

- Identificar el espacio y recursos disponibles para el rediseño del almacén.
- Identificar el diseño de layout que permite disminuir la distancia recorrida dentro del almacén.
- Identificar las variables que influyen en el tiempo del proceso de levantamiento de pedidos.
- Identificar las características físicas de los productos almacenados.
- Analizar la importancia de los productos sobre las ventas anuales de la empresa para clasificarlos y asignar su mejor ubicación dentro del almacén.
- Determinar la cantidad de inventario de cada producto para cumplir con un nivel de servicio específico.
- Optimizar la asignación de lugares de almacenamiento para cada producto.
- Evaluar la efectividad del método propuesto a través de los indicadores de tiempo de despacho y distancia recorrida del levantamiento de pedido.

Hipótesis

El rediseño de layout del almacén y la asignación óptima de espacios de almacenamiento de cada producto, disminuirá la distancia de recorrido en el despacho de órdenes de pedido.

La distancia recorrida en el despacho de órdenes de pedido impacta directamente en el tiempo de despacho de órdenes.

Justificación

El caso de estudio presentado en este Trabajo Terminal de Grado pertenece al sector automotriz específicamente al mercado de repuestos en México. En los últimos años han surgido diversas empresas que se dedican a la misma actividad económica, haciendo el mercado más competitivo, lo que ha provocado que las empresas estén cada vez más interesadas en la reducción de costos de operación y aumento del nivel de servicio en sus operaciones.

En el caso de estudio se observó que el tiempo en el proceso de despacho de materiales genera altos costos de operación y afecta el tiempo de entrega de los pedidos a los clientes, lo que genera que su competitividad en el mercado se vea mermada. El presente proyecto surge de la necesidad de mejorar el proceso de despacho de materiales desde un rediseño de la distribución de la estantería y la distribución de los productos en el almacén, lo cual contribuye a incrementar la competitividad de la empresa en el mercado aumentando el nivel de servicio, utilizando los recursos con mayor eficiencia y logrando una reducción de fallas en el proceso.

Alcances y limitaciones

El presente proyecto tiene como alcance proponer un diseño de la distribución de estanterías utilizando un análisis analítico y un modelo matemático para la distribución de productos del almacén. El propósito principal es reducir los tiempos de traslado durante el proceso de levantamiento de pedidos en la empresa en cuestión.

Las limitaciones que se tienen para este proyecto son:

- Limitación de espacio físico debido a limitaciones de diseño para realizar la distribución de estantería.
- Limitación presupuestal para contratar personal, invertir en tecnología o recursos adicionales.
- Limitación operativa como es el equipo de manipulación de productos para el proceso de levantamiento de pedidos.
- Limitación de la capacidad del modelo para adaptarse a los cambios de la demanda de cada producto, el modelo puede requerir actualizaciones y ajustes constantes.
- Limitación de aplicación del modelo para diferentes almacenes, es necesario realizar un análisis detallado del entorno nuevo para adaptarse a necesidades específicas del nuevo almacén.

Metodología

La metodología propuesta para el desarrollo del Trabajo Terminal de Grado es la siguiente:

- Revisión bibliográfica de casos de estudios similares con el propósito de identificar modelos utilizados y generar un modelo matemático para el presente caso de estudio.
- Descripción de metodología utilizada para el diseño de layout.
- Descripción del caso de estudio y de la problemática que éste tiene, específicamente en el despacho de órdenes de pedido en su almacén principal.
- Descripción del flujo de proceso del almacén para conocer los diferentes procesos por los que tiene que pasar un producto para ser entregado al cliente.
- Identificación de equipo de manejo de materiales y almacenamiento, para identificar capacidad almacenamiento del propio almacén.
- Identificación de tamaño de los productos mediante el dimensionamiento de las cajas.
- Clasificación de los productos por medio de un análisis ABC de acuerdo con su participación en las ventas de la empresa.
- Análisis de propuestas de diseños de layout mediante métodos analíticos para elegir el diseño que tenga menor distancia promedio de distancia recorrida anualmente.
- Desarrollo de una política de inventario considerando como criterio importante el proveedor de cada producto, con el fin de conocer los plazos de entrega y reservar su espacio adecuado para su almacenamiento a su llegada.
- Diseño de la distribución de los productos mediante modelación matemática identificando variables como son frecuencia de acceso para cada producto, costo esperado de viaje, inventario necesario para cubrir la demanda en un horizonte de planeación, dimensiones de cada producto con el fin de minimizar la distancia de recorrido en el proceso de levantamiento de pedidos.

- Validación de los resultados del modelo matemático y comparación de la situación actual con la propuesta mediante el análisis de distancia recorrida y tiempo en el proceso de levantamiento de pedidos.

Estructura del documento

En el primer parte de este Trabajo Terminal de Grado se presenta una introducción que contextualiza el problema abordado en este Trabajo Terminal de Grado y da una visión general del proyecto. Posteriormente, en el capítulo 1 se muestra la revisión de literatura existente, centrándose en conceptos específicos del proceso de levantamiento de pedidos dentro de un almacén. En el capítulo 2 se describe el marco teórico relacionado con el proceso de levantamiento de pedidos. Aquí mismo, se profundiza en los fundamentos teóricos que respaldan el desarrollo de este proyecto. En el capítulo 3 se presenta el marco metodológico en donde se detalla el análisis de los diferentes layouts propuestos, así como la formulación del modelo de optimización utilizado para realizar la asignación de productos dentro de los espacios de almacenamiento. En el capítulo 4, se expone el análisis de resultados obtenidos. Se comparan los layouts propuestos y se realiza la comparativa de distancias y tiempos en el recorrido en el proceso de levantamiento de pedidos. En el último capítulo, se muestran conclusiones derivadas del presente trabajo. Además, se ofrecen recomendaciones y posibles mejoras en el proceso de levantamiento de pedidos dentro del almacén.

Capítulo 1 Revisión de literatura

El Trabajo Terminal de Grado contempla una revisión de trabajos previos para abordar problemáticas anteriores y proponer soluciones efectivas.

1.1 Antecedentes teóricos

Los problemas relacionados con el levantamiento de pedidos han sido ampliamente estudiados, considerando aspectos como el diseño de layout, restricciones especiales y situaciones con objetivos específicos. La mayoría de los estudios están orientados en la reducción de la distancia total y el tiempo de viaje.

Govindaraj et al. (2000) presentan un modelo para organizar los diferentes componentes, funciones e información relacionados con los sistemas de almacenamiento. Este modelo aborda la planificación y diseño de las instalaciones físicas, considerando aspectos como la disposición de estanterías, áreas de almacenamiento e infraestructura. El artículo proporciona ejemplos prácticos de su aplicación en entornos de gestión logística.

Malmborg (2001) aborda heurísticas para diseñar estanterías de almacenamiento, cubriendo aspectos como la altura de los estantes, espacio entre ellos y la disposición de las estanterías. Los métodos se basan en la experiencia práctica y tienen como objetivo simplificar el proceso de diseño.

Hassan (2002) propone un marco metodológico para el diseño de un almacén de acuerdo con las necesidades específicas del mismo. El marco consta de 14 pasos esenciales para abordar las necesidades específicas de los almacenes y alcanzar los objetivos de manera efectiva. Esto resulta en una mayor eficiencia operativa, reducción de costos y mejora de nivel de servicio al cliente.

Petersen et al. (2004) proponen la implementación de una política de almacenamiento basado en clases como una estrategia para mejorar el rendimiento del proceso de levantamiento de pedidos. La política ofrece ahorros del 12-26% en el tiempo de recolección de pedidos.

Taylor et al. (2005) presentan un modelo matemático que aborda el diseño de almacenes y la asignación óptima de productos en los almacenes, lo que genera una reducción de costos, mayor eficiencia en el proceso de levantamiento de pedidos y una mejora en el flujo del trabajo. El modelo tiene en cuenta factores como la dimensión de los productos, demanda de los productos, restricción de espacio, las rutas de recolección de pedidos y el tiempo de viaje, garantizando un diseño eficiente. El artículo presenta resultados de simulaciones y análisis teóricos que respaldan la efectividad del modelo propuesto.

De Koster et al. (2007) describen un modelo para la optimización del diseño de almacenes de selección de pedidos manuales, considerando el recorrido de los recolectores de pedidos a través del área asignada para la recolección de pedidos. Se consideran variables clave, como el número y longitud de pasillos y la ubicación de los espacios de almacenamiento, con el objetivo de minimizar las distancias recorridas para mejorar la eficiencia de las operaciones. Al abordar estos procesos se logra una mejora integral en la eficiencia de la cadena de suministro de la empresa.

Renaud y Ruiz (2008) proponen un enfoque basado en la optimización de dos componentes principales en un almacén. El primero es la ubicación de productos, el cual se realiza mediante un modelo que tiene como objetivo asignar el espacio de almacenamiento óptimo dentro del almacén de manera que se minimice el recorrido en los procesos, considerando factores como la demanda de productos y restricciones de espacio físico. La segunda es la optimización de rutas en el proceso de levantamiento de pedidos, en donde se utiliza un enfoque de simulación para evaluar diversas estrategias en la recogida de pedidos para determinar la más eficiente en términos de tiempo y recursos.

Mirabelli et al. (2015) se centra en la optimización del diseño de almacenes. Se presenta un caso de estudio basado del problema de asignación Multi-Capa, el cual busca mejorar la eficiencia de la distribución dentro del almacén, lo que implica una reducción de las distancias de viaje de trabajadores, reducción de costos operativos y aumento de la productividad. Se consideran restricciones físicas del almacén como la disposición de estantería y pasillos.

Venkitasubramony y Adil (2016) diseñan un almacén rectangular en tres dimensiones, en donde todos los espacios de almacenamiento tienen la misma altura, ancho y profundidad. Se realiza el análisis de costo de viaje de forma horizontal y vertical. El modelo tiene como objetivo minimizar el costo de las operaciones en el almacén. Las variables de decisión para el modelo de optimización son el número de islas requeridas, el número de carriles en cada isla y el número de localizaciones verticales en cada isla. Las restricciones aseguran que se tenga la capacidad para mantener los productos requeridos para cubrir la demanda, se elige un lugar fijo para cada producto y restricciones reales como la dimensión del edificio, la tecnología y la ergonomía necesaria para cada almacén.

Ardjmand et al. (2018) proponen un modelo matemático exacto dado que requiere un tiempo prolongado para su solución se considera un heurístico de descomposición Lagrangiana combinada con optimización de enjambre de partículas. El objetivo del modelo es minimizar el tiempo del proceso de levantamiento de pedidos con la garantía de que todas las órdenes son recogidas, restricciones de capacidad y la cantidad de cada pieza en cada lote no sea superada por cada orden, además de que cada orden está incluida en los lotes de los preparadores de pedidos. Sin estas restricciones se tendrían rutas no terminadas o parciales.

Shetty et al. (2020) proponen un modelo basado en el problema de enrutamiento de vehículos, haciendo uso de una matriz de distancias previamente calculada, en el modelo todos los nodos deben de ser visitados por lo menos una vez al igual que un modelo convencional de enrutamiento de vehículos. Además de las restricciones de tiempo se tiene la restricción del tamaño de la demanda la cual es variante por las épocas del año. Utilizan un sistema de levantamiento de pedidos manual, además analiza las diferentes políticas de almacenamiento como son las localizaciones uniformes con una localización aleatoria de los productos y otra con puntos de recogida hacia delante de acuerdo con la demanda del producto. El modelo matemático propuesto tiene como objetivo minimizar la distancia total del proceso de levantamiento de pedidos. Las restricciones que considera son que cada nodo sea visitado por lo menos una vez, el número de vehículos utilizados, la demanda y capacidad, además del tiempo de arribo.

1.2 Almacenes

Dentro de la cadena de suministro la gestión de almacenes es un componente crítico debido a que se encarga de los inventarios, gestionando las necesidades de los clientes de una empresa (Espinal et al., 2010).

Los almacenes son parte integral de las cadenas de suministro, el desempeño de las funciones que tiene el almacén se ve afectado por la volatilidad del mercado, la diversificación de los productos y la reducción de los plazos de entrega. Los almacenes son fundamentales en términos de costo y servicio dentro de la cadena de suministro debido a la naturaleza de las instalaciones, el personal y el equipo requerido.

El objetivo principal de los almacenes consiste en facilitar el movimiento de materiales a través de la cadena de suministro hasta el consumidor final, por lo que es necesario mantener inventario para satisfacer las siguientes dos condiciones: la demanda del producto es continua y el tiempo de suministro es mayor al tiempo de demanda (Rushton et al., 2017).

1.2.1 Operaciones de almacén

La Figura 1.1 muestra los procesos que tienen lugar en el flujo de materiales dentro del almacén (Rushton et al., 2017):

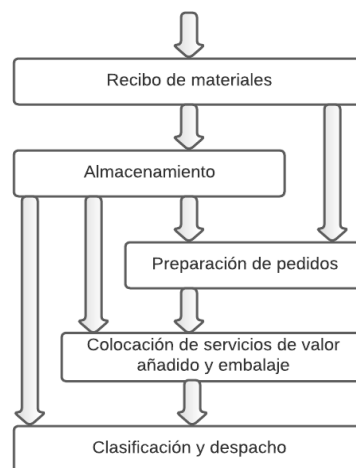


*Figura 1.1 Flujo de materiales en almacén.
Fuente: (Rushton et al., 2017).*

1. Recibo de materiales: Los productos llegan al almacén en transporte interno o externo posteriormente son revisados o transformados y en espera del próximo proceso.
2. Almacenamiento: El almacenamiento es el acto de mover y colocar materiales en espacios específicos. Los sistemas de almacenamiento se clasifican en dos tipos:
 - a) Sistemas de carga unitaria: Se utilizan para cargas grandes como pallets completos o cajas grandes.
 - b) Sistema de carga pequeña: Albergan cargas pequeñas. Los productos son almacenados para su fácil recuperación por parte de un preparador de pedidos. (Manzini, 2012).
3. Levantamiento de pedidos: Es la recuperación de los productos desde su localización en el almacén para cumplir con una orden de pedido que contiene una cantidad específica de un producto en línea. El levantamiento de pedidos es una parte clave de la operación del almacén en términos de servicio y costo, se requiere una proporción del personal para lograr altos niveles de precisión en la orden.
4. Colocación servicios de valor añadido y embalaje: Los productos deben de ser ensamblados o embalados juntos después del levantamiento de pedidos, incluyen servicios de valor añadido como es el etiquetado del producto embalado.
5. Clasificación y despacho: Las mercancías se clasifican juntas para formar las cargas en el área de despacho y luego se cargan a los vehículos de salida para su envío al siguiente “nodo” de la cadena.

1.2.2 Diseño de almacén

Hassan (2002) menciona el almacén como principal departamento, es usual dividirlo en dos partes, una en área de reserva y otra en área de recogida de pedidos para facilitar las operaciones y reducir movimientos de los operadores. La división del almacén se realiza teniendo en cuenta criterios como son la demanda, tamaño y tipo de unidades de carga, para el caso del área de recogida de pedidos se divide en tamaños del producto o en la velocidad de movimiento de cada producto ya sea lento, mediano o rápido.

El diseño de las islas es un paso importante en el diseño del layout, la localización, orientación, largo y ancho, dependiendo de las necesidades de operación, manejo de materiales y espacio requerido.

Las estrategias de operación en el almacén se enfocan en dos principales la primera es la estrategia de almacenamiento y la segunda la estrategia de levantamiento de pedidos.

Según Gu et al. (2010) el diseño de almacenes implica cinco decisiones importantes (Figura 1.2):

1. Determinar la estructura general del almacén: Implica definir la disposición física del almacén. Identificar los diferentes departamentos, áreas de almacenamiento, oficinas y secciones dentro del espacio disponible.
2. Establecer el tamaño y dimensionamiento del almacén: Se determina el tamaño total del almacén y se establecen dimensiones específicas, lo que implica la capacidad de almacenamiento necesaria para los productos, además, establecer la cantidad de espacio requerida para el proceso de levantamiento de pedidos y embalaje.
3. Diseñar detalladamente de cada departamento: Se definen las áreas específicas para la recepción, almacenamiento, área de levantamiento de pedidos y empaque propios del almacén.
4. Seleccionar las estrategias operativas: Se definen las estrategias y prácticas operativas que se implementarán en el almacén. Se incluyen decisiones sobre la gestión de inventario, políticas de envío y procesos de levantamiento de pedidos.
5. Seleccionar el equipo necesario: Se elige el equipo necesario para ejecutar las operaciones del almacén de manera eficiente. La selección del equipo debe alinearse con las necesidades específicas de la operación.

A través de un estado de arte Baker y Canessa (Baker & Canessa, 2009) indican los pasos para el diseño de un almacén los cuales son: definir de los requerimientos del sistema, obtener y analizar datos, establecer las unidades de carga, determinar los procedimientos y métodos operativos, considerar el equipamiento necesario, así como sus

características, definir servicios y operaciones auxiliares en los diseños propuestos y finalmente, evaluar e identificar el diseño preferido.

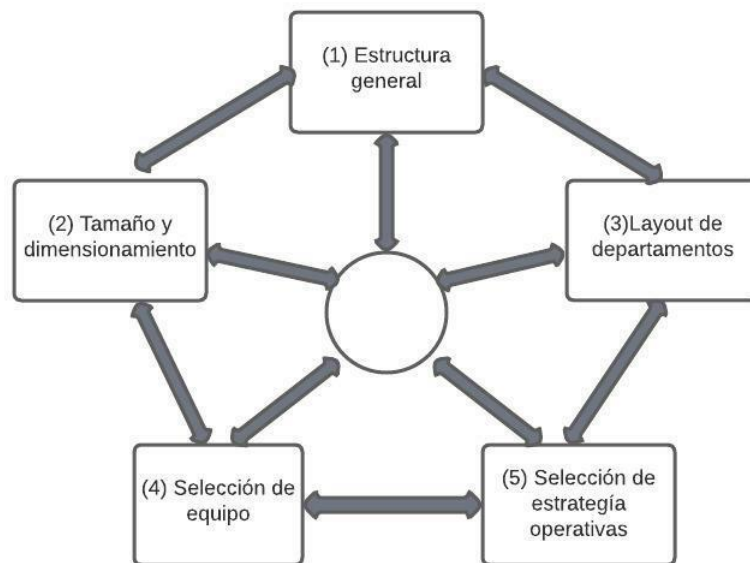


*Figura 1.2 Proceso de diseño de un almacén.
Fuente: Gu et al. (2010).*

Rushton et al. (2017) consideran la recopilación de datos se debe realizar del año base es decir el año más reciente y luego proyectado hacia adelante con un plan de negocios con un horizonte de planificación por año. Los datos típicos requeridos para el diseño de almacén son:

- Productos: Para cada línea de productos se requiere información sobre grupos de producto, rendimiento de cantidad, rendimiento de valor financiero, estacionalidad, rotación del inventario, número de líneas de pedido, características como peso y dimensiones de la unidad de carga.
- Características del pedido: Se debe tener información sobre los perfiles de pedido, frecuencia de pedidos, número de líneas de pedido para cada producto, requisitos de carga unitaria y embalaje y niveles de servicio.
- Patrones de entrada y despacho: Los datos a recolectar son la cantidad de vehículos por día y por hora, tipos de vehículos, tipos de carga unitaria, volúmenes por ruta.

- Operación del almacén: Los datos que se requiere conocer son las operaciones básicas como son el recibo de materiales, almacenamiento, levantamiento de pedidos y clasificación y despacho, además de funciones auxiliares, por ejemplo, embalaje, devoluciones, control de calidad, carga de baterías, oficinas, limpieza, taller de mantenimiento y servicios.

De acuerdo con Yoon & Sharp (1996) las principales áreas del almacén a calcular son:

- Área de recibo de materiales: Los productos son descargados e inspeccionados.
- Área de almacenamiento de reserva: Un área en donde los pallets son almacenados y recuperados completos sin ruptura de estos.
- Zona de recogida de cajas: Área desde la cual se recuperan productos del mismo producto consolidado en cajas.
- Zona de recogida de ítems: Los productos son recuperados desde uno hasta cantidades menores consideradas en una caja consolidada.
- Área de servicios de valor agregado: Se realiza etiquetado, reempaque y trámite de devoluciones.
- Área de empaque: Área en donde se agrupan diferentes productos, cajas y pallets pertenecientes a un pedido.
- Área de despacho: Área en donde se encuentran los artículos salientes, revisados y cargados a los vehículos.
- Oficinas: Área en donde se realizan tareas administrativas del almacén.

Las decisiones que se toman en este paso son numerosas e incluyen la determinación del método de almacenamiento, la profundidad del almacenamiento, el tipo, el número y la capacidad de áreas particulares del almacén.

Además, la determinación del número de islas, así como su localización, orientación, largo, y ancho es un importante paso en el diseño del almacén debido al impacto en la necesidad del espacio, operaciones, manejo de materiales, y asignación de espacio del almacenamiento (Hassan, 2002).

1.3 Levantamiento de pedidos

Ten Hompel y Schmidt (2007) describen el proceso de levantamiento de pedidos como la consolidación de una cantidad personalizada de uno o varios artículos y señala las áreas de división de un sistema.

Manzini (2012) detalla una línea de pedido como la cantidad solicitada de un producto de línea.

Los dos enfoques típicos que se utilizan para integrar los pedidos son la clasificación de las líneas de pedido en pedidos individuales durante un recorrido de levantamiento de pedidos y la clasificación después de la misma, en donde todas las partidas solicitadas en el lote de pedidos son recolectados juntos en un ciclo de recolección.

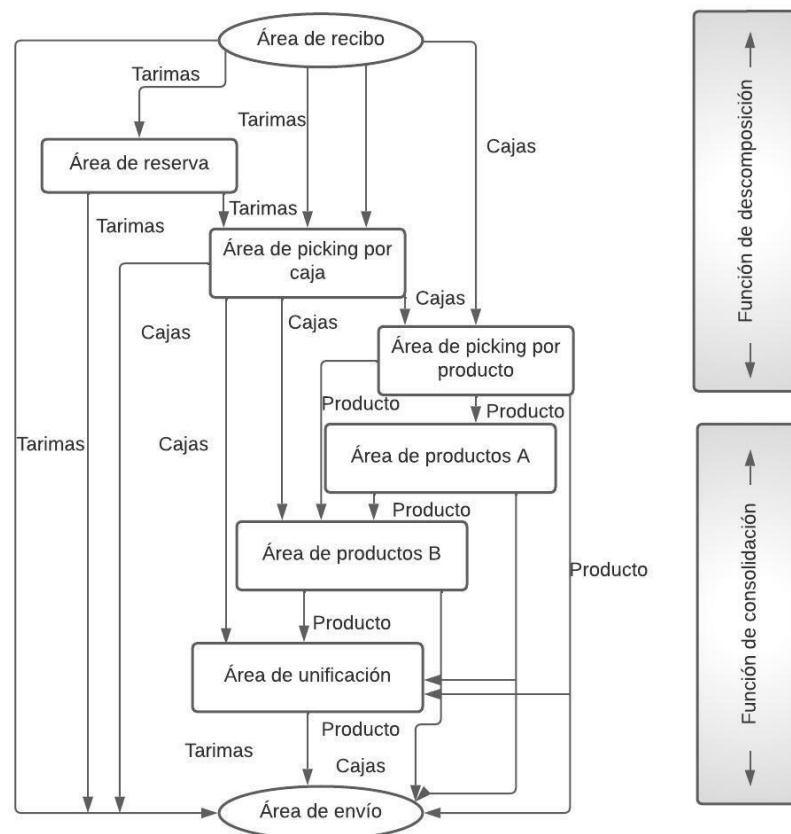


*Figura 1.3 Diagrama de sistema de levantamiento de pedidos.
Fuente: Yoon y Sharp (1996).*

En la Figura 1.3 se presenta una representación detallada del sistema de levantamiento de pedidos, el cual se divide en dos funciones principales. La primera función es de descomposición, el cual comienza en el área de recibo de materiales. Aquí, los productos almacenados en tarimas se dirigen hacia el área de reserva o al área de recolección de pedidos por caja consolidada, si los productos son descompuestos y almacenados por caja se trasladan al área de recolección de pedidos por producto.

En la fase de consolidación, el área de recolección de pedidos por producto se divide en tres secciones, según la clasificación del producto en el análisis ABC. Cada clasificación de producto se gestiona de manera específica en su respectiva sección. Finalmente, los productos recolectados se consolidan y se dirigen al área de envío de productos para su despacho.

Para el proceso de recolección de pedidos, Richards (2018) realiza la siguiente clasificación:

- Selección de pieza, unidad, artículo o caja rota.
- Selección de cajas completas o cajas de cartón.
- Selección de capas.
- Pallet completo.

1.3.1 Estrategias de ruta

Las estrategias de ruta más famosas son descritas por Roodbergen y De Koster (2001) como:

- S-shape: Se ingresa a los pasillos que por lo menos tenga un producto, no se ingresa a los pasillos sin interés. Es la política de inventarios más frecuente.
- Return: El pasillo se dejará por el mismo lado por el que se entró.
- Mid-point: Divide el almacén en dos áreas, se accede a la mitad delantera desde el pasillo cruzado delantero y para la mitad trasera se accede desde el pasillo cruzado trasero.

- Vuelta más grande: Es similar a mid-point excepto que el operario entra en el pasillo dando la vuelta más larga en lugar del punto medio.
- Pasillo por pasillo: Cada pasillo se visita solamente una vez, la ruta es creada para bloques múltiples.

Capítulo 2 Marco teórico

El marco teórico incluye conceptos básicos necesarios para el uso de la solución de la problemática central del proyecto, entre los cuales se incluyen el diseño del layout y el diseño de asignación de productos.

2.1 Diseño de layout del almacén

La metodología propuesta para la solución del problema de diseño de layout es la descrita por Geuken y Louise (2015), la cual se seleccionó debido a su adaptabilidad a los datos proporcionados por la empresa y las condiciones del mercado. A continuación, se describen los pasos que la conforman:

2.1.1 *Recolección de datos*

El primer paso para el diseño del layout consiste en la colección de la siguiente información:

- Dimensiones de las cajas individuales
- Dimensión del almacén
- Dimensionamiento de los pasillos
- Demanda anual de cada producto
- Número promedio en recolección de pedidos
- Número promedio de viajes almacenados por estiba
- Inventario de seguridad de cada producto
- Promedio de cajas por pallet
- Número de pasillos
- Número de anaqueles
- Espacio total de almacenamiento

2.1.2 Análisis de datos

Los productos son analizados y agrupados en clases, el análisis es útil para identificar productos involucrados con mayor número de movimientos, la metodología utilizada para la clasificación de los productos es el análisis ABC. El análisis clasifica los productos en tres categorías A, B y C, dependiendo de la importancia estimada en función del volumen de ventas (Mirabelli et al., 2015).

Un análisis ABC, divide los productos en diferentes clases dependiendo la importancia que estos tengan para la empresa, esta clasificación ayuda a identificar los productos más vendidos y los productos que deben de ser eliminados. La idea es que los artículos A sean colocados en la parte delantera, más cercana a la zona de expedición. Una clasificación ABC permite combinar dos categorías como son el volumen y la frecuencia (Richards, 2018).

2.1.3 Definición del objetivo del almacén

Definir el objetivo es crucial para identificar la estrategia de operación (Geuken & Louise, 2015). El objetivo de un almacén se establece de acuerdo con las necesidades identificadas por la empresa, además de la capacidad de almacenamiento, velocidades de entrada y salida de los productos y la gestión de inventarios.

Los objetivos de un almacén son apoyar la función logística brindando un alto servicio al cliente y un bajo costo, proporcionando el almacenamiento necesario en puntos clave de la cadena de suministro (Waters, 2003).

Mora (2010) señala que en la gestión en los almacenes se destacan las siguientes tres funciones:

1. **Minimizar el costo total de la operación:** Se deben considerar tres elementos principales como son: mano de obra, espacio y equipo. Los cuales reflejan el costo de la operación.

Las principales estrategias son la maximización de los espacios en volumen, el uso de los equipos, el acceso a todos los materiales y mercancías, salvaguarda de los productos y el uso de mano de obra.

2. **Suministrar los niveles adecuados de servicio:** El nivel de servicio está determinado por la eficacia y la eficiencia de los procedimientos utilizados en los diferentes procesos dentro del almacén.
3. **Complemento de procesos productivos:** El almacenamiento de los productos tiene que dar continuidad a los procesos productivos, manteniendo la continuidad de las operaciones.

Los principios para permitir una operación eficiente que minimice los costos de operación sin disminuir la calidad de los procesos son los siguientes:

- a) Realizar movimiento con la mayor cantidad posible de producto, lo cual reduce la cantidad de movimientos dentro del almacén.
- b) Determinar rutas cortas para generar mayor rendimiento del recurso y tiempos de operación cortos.
- c) Aprovechar el área disponible reduciendo el costo de almacenaje, distancias cortas y control sobre agotados y devoluciones.
- d) Disminuir el tiempo empleado en los procesos mediante la implementación de procesos estandarizados, la capacitación del personal y la claridad en las políticas de servicio, la reducción de tiempos improductivos y la planificación adecuada de los recursos necesarios.
- e) Establecer el número mínimo de movimientos agregando valor al producto reduciendo el riesgo de sufrir averías.
- f) Agrupar los productos de acuerdo con su manejo, de acuerdo con la manipulación necesaria que se le da en cada área.
- g) Evitar los inventarios en espera, maximizando el flujo del material a lo largo de la cadena de suministro, trabajando actividades de cuello de botella y reduciendo el desaprovechamiento de la capacidad máxima de las actividades.

2.1.4 Mapeo de actividades en el almacén

El mapeo de actividades en el almacén es importante ya que el flujo de materiales afectará la eficiencia dentro del almacén (Geuken & Louise, 2015).

Los diagramas de procesos son normalmente la primera herramienta utilizada en una investigación, se obtiene el conocimiento del proceso o serie de eventos que se están estudiando, son ideales para obtener una imagen de una serie de eventos y movimiento, mirando la relación de cada parte con un todo.

2.1.5 Unidades de manejo de material en el almacén

En la cadena de suministro el producto fluye desde unidades grandes como son tarimas, las cuales se descomponen sucesivamente en unidades más pequeñas como se muestra en la Figura 2.1.

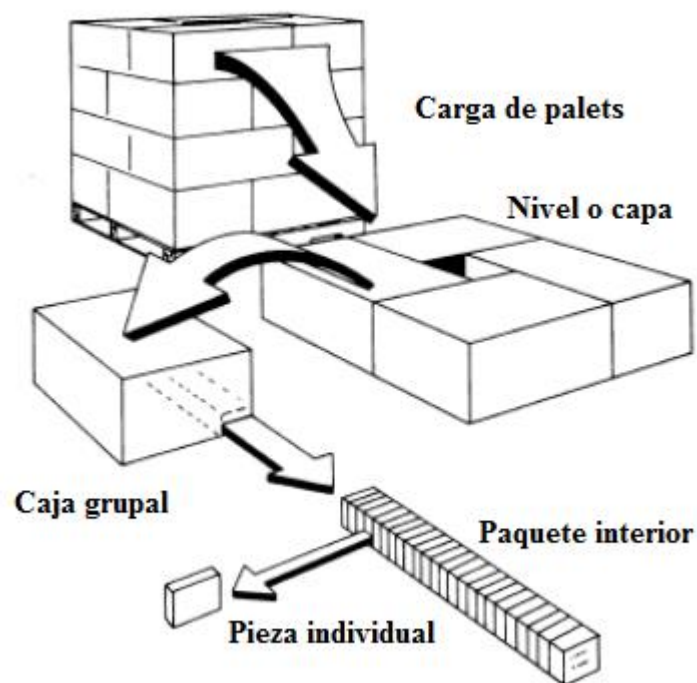


*Figura 2.1 Unidades de carga.
Fuente: Geuken y Louise (2015).*

El manejo de materiales en el proceso de almacenamiento permite mover y manipular los materiales de forma segura y eficiente.

2.1.6 Análisis de la demanda esperada

Para asegurar la competitividad de la cadena de suministro de la empresa es importante contar con un almacén capaz de manejar la demanda requerida, el diseño del almacén es realizado para la demanda actual como con la demanda futura. Los datos son considerados de documentos internos de la empresa, con expectativas de crecimiento, tendencias en el mercado y pronósticos contruidos.

2.1.7 Análisis de la configuración del equipo de almacén

Lo importante de este paso es seleccionar la estantería y equipo de manejo de materiales (Geuken & Louise, 2015).

Mora (2010) describe tres grandes grupos para manejo de materiales:

1. De transporte horizontal: Se utilizan para realizar actividades de recepción y almacenamiento, levantamiento de pedidos y despacho, son de manejo manual y autopropulsados.
2. De elevación: Su función se basa en movimientos verticales, las actividades que se realizan son de acomodo y extracción de estibas, su clasificación es la siguiente: de alcance, de apilación y contrabalanceados.
3. De picking: Son utilizados para hacer selección de estibas o cajas, facilita el trabajo del operario a baja, mediana y gran altura.

2.1.7 Planeación del espacio requerido

La planeación del espacio requerido es un proceso que asegura el eficiente funcionamiento del almacén, es necesario identificar los materiales que son almacenados, los aspectos a considerar son el tamaño, el peso y la forma. Se debe realizar un análisis de la demanda para evaluar la frecuencia de movimiento de cada material y así determinar el espacio requerido.

Para identificar el espacio requerido para cada tipo de producto es necesario apoyarse en la política de inventarios que la empresa en cuestión maneja para cada clase de producto.

Se requiere identificar la cantidad económica de pedido Ecuación (2-1) y el inventario de seguridad con el objetivo de calcular el volumen total de inventario Ecuación (2-2). Esto se logra teniendo en cuenta la desviación estándar en el tiempo de reposición y el factor de seguridad, el cual es determinado por el nivel de servicio que se desea brindar.

$$Q_i = \sqrt{\frac{2D_i S_i}{H_i}} \quad (2-1)$$

Q_i – Cantidad económica de pedido del producto i .

D_i – Demanda anual del producto i .

S_i – Costo de realizar un pedido del producto i .

H_i – Costo de mantener una unidad de inventario por año i .

$$IS_i = k\sigma_L \quad (2-2)$$

IS_i – Inventario de seguridad del producto i .

σ_L – Desviación estándar en el tiempo de reposición L .

k – Factor de nivel de servicio deseado, para el caso de la empresa es de 95%, $k=1.65$.

2.1.8 Preparación de posibles layouts del almacén

El diseño del layout de un almacén es una tarea compleja por las siguientes razones: (1) el número de decisiones es extenso y muchos de ellos son problemas combinatorios que son difíciles de resolver de manera óptima y (2) las operaciones dentro del almacén y factores como demanda, características físicas de artículos y unidades de carga, además del manejo de materiales impactan el tiempo de viaje, el costo de manejo de materiales y el rendimiento en el almacén (Hassan, 2002b).

El segundo paso es desarrollar diferentes alternativas de distribución del layout, los diseños incluyen áreas para funciones como control del patio de estacionamiento de camiones y automóviles, recepción y organización, actividades de apertura, clasificación,

conteo, emisión de boletos y empaque, además de transporte interno, levantamiento de pedidos interno, clasificación y embalaje y finalmente envío (Mulcahy, 1994).

Lograr niveles de productividad óptimos en el almacén depende en gran medida del diseño del área de recolección de pedidos. Uno de los aspectos clave a considerar es la decisión de tener inventarios separados para reserva y levantamiento de pedidos, o combinar todo el inventario en un solo lugar. Es posible realizar la reserva de stock en niveles superiores, utilizando el espacio vertical disponible en el almacén (Rushton et al., 2017).

Se consideran dos diferentes tipos de layouts; considerando como referencia el estudio realizado por (Bassan et al., 1980) en donde se consideran principalmente la orientación de los estantes; paralelos a la pared más larga y paralelos a la pared corta.

Es necesario considerar la colocación de puntos de entrada y salida del almacén, el número de islas, así como sus dimensiones y orientación (Hassan, 2002b).

2.1.9 Evaluación de los layouts generados e identificación de la mejor solución

Los métodos que se utilizan para evaluar un diseño de layout están para determinar la eficacia de cada arreglo, considerando el costo beneficio en términos económicos y el tiempo para contemplar las tareas en cada layout.

Un método analítico desarrollado por (Bassan et al., 1980) por medio de una formulación matemática encontrar el número óptimo de estantería, así como el largo de las secciones y la orientación de esta.

La configuración del layout del almacén busca minimizar el costo de manejo de materiales que afecta principalmente a la operación. Los siguientes parámetros (Figura 2.2) son considerados para determinar el arreglo apropiado del layout del almacén para determinar el arreglo que en promedio sea el de menor costo (Bassan et al., 1980):

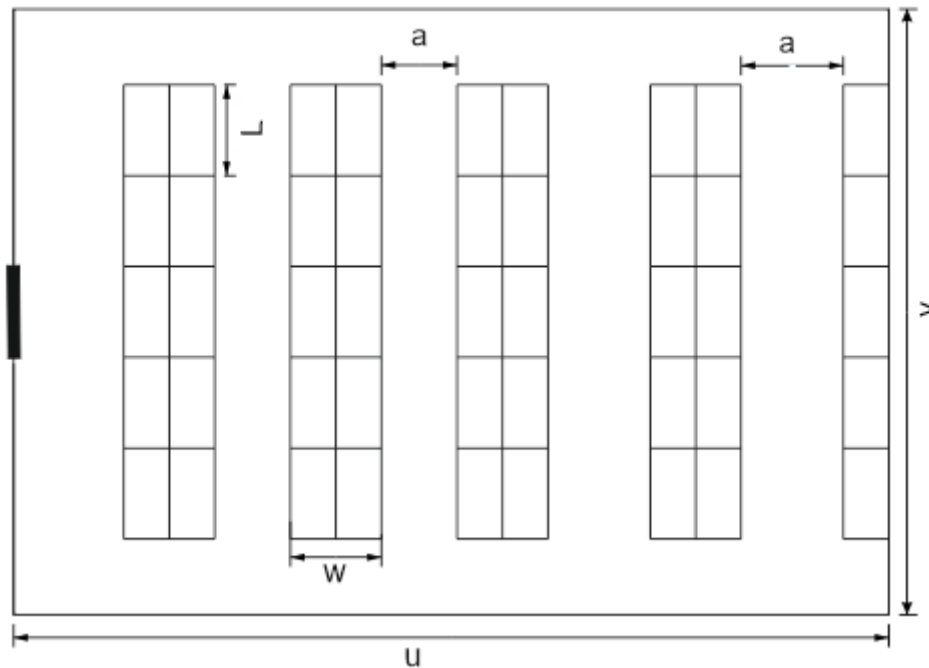


*Figura 2.2 Parámetros de arreglo de almacén.
Elaboración propia.*

w - profundidad del estante doble. Se considera la suma de dos estantes adyacentes a la pared como un estante doble.

L - el ancho o dimensión frontal de un estante.

m - número de compartimentos de almacenamiento que se encuentran a lo largo de un estante.

h - niveles o alturas de cada estante con división vertical.

n - número total de estantes dobles, considerando que la agrupación de dos estantes simples se considera como un doble.

a - ancho de los pasillos.

u - dimensión longitudinal del almacén.

v - dimensión transversal (ancho del almacén).

d - rendimiento anual (demanda) del almacén, en almacenamiento unidades.

Los parámetros enlistados están disponibles para realizar la comparación económica está basada en el supuesto de todos los costos, están influenciados por la forma y las dimensiones del almacén y su distribución en planta, se considera el siguiente costo:

C_h - costo de manejo de materiales, de mover una unidad de almacenamiento una unidad de longitud.

Para realizar la comparación económica es necesario determinar la distancia de viaje promedio anual la cual está dada por la suma de los viajes en los ejes horizontales, verticales y la altura dentro del almacén; multiplicado por cuatro ya que son los movimientos que se realizan dentro del almacén entre los que están poner en el lugar de almacenamiento y recogida del lugar del almacenamiento en donde se tiene que realizar el recorrido dos veces.

El costo anual de manejo por año está dado por la distancia promedio recorrida por el costo de mover una unidad de almacenamiento una unidad de longitud.

2.2 Asignación de productos

Los productos deben de ser colocados en un espacio dentro del almacén para su posterior levantamiento de pedidos, los métodos de asignación de productos se basan en diferentes reglas para realizar la asignación óptima.

2.2.1 Políticas de asignación de almacenamiento

Hay extensas estrategias de asignar los productos dentro de las áreas de almacenamientos. Se describen las formas más usadas (De Koster et al., 2007):

- Almacenamiento aleatorio: Cada producto que llega al almacén es colocado en un lugar de almacenamiento aleatorio, se realiza la asignación a un espacio vacío elegido de todos los espacios disponibles todos con la misma probabilidad de ser seleccionados.
- Almacenamiento en el lugar abierto más cercano: Es elegido el lugar de almacenamiento más cercano, la elección la realiza el colaborador que almacena el producto.

- Almacenamiento dedicado: Cada producto tiene un lugar asignado, la desventaja que se encuentra es tener un producto fuera de stock, pero su lugar va a estar asignado dentro del almacén disminuyendo el espacio utilizado, además esta asignación es diseñada para soportar el nivel máximo de inventario. La ventaja de un almacenamiento dedicado es que se asignan los productos dependiendo su peso, es decir, si un producto pesado está asignado en los niveles altos del estante es difícil manejarlos en cambio si están en los niveles inferiores es fácil manejarlos.
- Almacenamiento de rotación completa: Esta política distribuye los productos con mayor movimiento en un área con accesible ubicación accesible y los productos con menor tasa de ventas son colocados en la parte trasera.

La asignación de productos dentro del almacén se realiza mediante una metodología de almacenamiento dedicado, en el cual se asigna un espacio específico en el almacén para cada producto. Esta metodología se basa en la clasificación de los productos en A, B o C en función de su demanda, en donde los productos se acomodan de mayor a menor cercanía al punto de inicio y final del proceso de recolección de pedidos para mejorar la eficiencia del proceso.

De acuerdo con Goetschalckx (2012) la frecuencia de acceso para cada producto está dada por los costos de viaje que se obtienen al almacenar y recuperar los productos, la frecuencia de acceso a un lugar de almacenamiento Ecuación (2-3):

$$f_i = \frac{2r_i}{q_i + s_i} \quad (2-3)$$

f_i – Frecuencia de acceso para el producto i .

r_i – Costo de viaje por almacenar y recuperar el producto i .

q_i – Cantidad económica del producto i .

s_i – Inventario de seguridad del producto i .

Después de determinar la frecuencia para cada producto se procede a determinar la distribución de secciones dentro del almacén para el caso proactivo de este trabajo se

seleccionó dividir el almacén en tres secciones dependiendo del movimiento de cada producto y basándonos en el análisis ABC.

Antes de generar el modelo se determina el espacio requerido para los productos, donde para cada tipo de producto se considera el inventario de seguridad más la cantidad mínima de pedido, teniendo en cuenta que para cada tipo de producto el nivel de servicio que la empresa desea ofrecer es arriba del 95%, además de considerar que la empresa tiene diferentes políticas de inventario para cada tipo de producto.

2.2.2 Modelo para la asignación de productos en almacén

Los productos se asignan a los diferentes lugares de almacenamiento del almacén. Se consideran los siguientes supuestos para la construcción del modelo:

- La frecuencia de acceso al lugar de almacenamiento se reduce al tener el inventario máximo en un solo lugar dedicado.
- La capacidad de almacenamiento está diseñada para satisfacer la capacidad máxima de inventario para los horizontes de planeación según el aprovisionamiento de cada producto.
- Se considera un punto de dónde se comienza y termina el proceso de recolección.
- El volumen de cada producto es diferente, mientras que para los lugares de almacenamiento son del mismo tamaño.
- Cada estante tiene cuatro niveles de espacio de almacenamiento.

El modelo utilizado en este Trabajo Terminal de Grado es el descrito por Goetschalckx en 2012 como se muestra en las ecuaciones de la 2-4 a 2-7:

Índices:

i : indicador de cada producto o número de parte

j : espacio de almacenaje en el almacén

Variable de decisión:

X_{ij} : cantidad de producto i en el lugar de almacenamiento j .

Parámetros:

f_i : frecuencia de accesos para cada producto i

e_{ij} : costo esperado de viaje a la ubicación j para la recolección del producto

S_i : frente necesario para alojar el inventario de cada producto i para cubrir la demanda en un horizonte de planeación. Se refiere al espacio utilizado para almacenar y garantizar suficiente capacidad para satisfacer las necesidades de inventario.

g_i : medida del frente del producto i . Representa la dimensión del frente del producto (i) refiriéndose al ancho del producto (Figura 2.3).

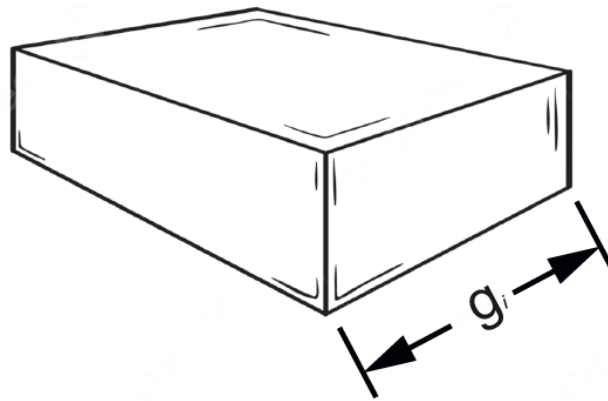


Figura 2.3 Frente de cada producto.
Fuente: Elaboración propia.

Función objetivo:

$$\text{Min} \sum_i^n \sum_j^m (2f_i e_{ij}) X_{ij} \quad (2-4)$$

Restricciones:

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} g_i \geq S_i \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2-5)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} g_i \leq 1.2 \quad \forall j = 1, \dots, m \quad (2-6)$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ y entera} \quad (2-7)$$

La función objetivo (2-4) consiste en minimizar el costo total de viaje que se realiza al ir al lugar en donde está almacenado el producto y regresar al punto de partida del proceso de levantamiento de pedidos. Esto es multiplicado por la cantidad de productos que se tienen en ese espacio de almacén y la frecuencia determinada por datos históricos de requerimientos de cada producto. La primera restricción (2-5) asegura que se va a tener la cantidad de producto deseado para cubrir la demanda en un horizonte de planeación, considerando la dimensión del frente de cada producto para asignar un espacio dentro del almacén por cada producto. Para la segunda restricción (2-6) se asegura que la asignación en los diferentes estantes no sobrepase la medida frontal de un espacio de estantería. La cuarta restricción (2-7) convierte las variables positivas y enteras.

Capítulo 3 Caso de estudio

3.1 Descripción del caso de estudio

El presente Trabajo Terminal de Grado esta contextualizado en una empresa comercializadora de autopartes de recambio para el sistema de suspensión y dirección ubicada en la ciudad de Toluca, México, la principal actividad de la empresa por más de 40 años de operación es la importación y distribución de sus productos.

Se trata de una pequeña empresa con estructura horizontal, en la cual la gerencia general desempeña un papel central al tomar las decisiones clave, como se muestra en el organigrama presentado en la Figura 3.1:

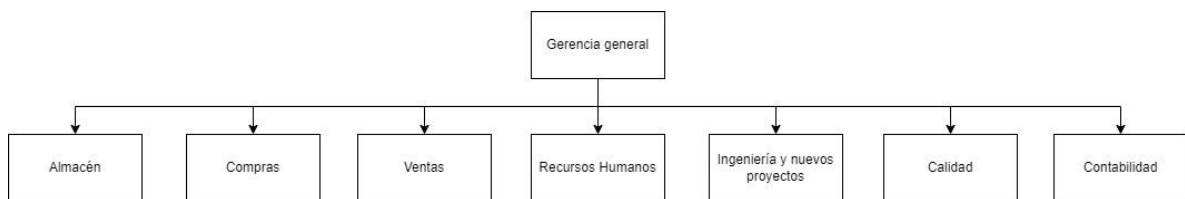


Figura 3.1 Organigrama de la empresa.

Fuente: Elaboración propia.

El enfoque de este Trabajo Terminal de Grado se centra en las operaciones del área de almacén, en el cual sus operaciones impactan sustancialmente las actividades de las demás áreas.

3.2 Definición del objetivo del almacén

El almacén tiene la función de gestionar los niveles de inventario de autopartes de recambio para poder satisfacer la demanda de los clientes, manteniendo un stock adecuado, se busca mitigar los problemas de disponibilidad y asegurar la entrega a tiempo de los pedidos. Los pedidos de los clientes deben de ser entregados dentro de los plazos acordados, teniendo una gestión eficiente de los productos almacenados.

El almacén busca minimizar las ventas perdidas de la empresa, al tener un inventario adecuado se reduce la probabilidad de tener faltantes dentro del almacén. Además, se busca mejorar el nivel de servicio ofrecido por la empresa asegurando la disponibilidad de los productos y entregas a tiempo.

3.3 Mapeo de procesos dentro del almacén

El proceso que se lleva a cabo dentro del almacén se divide en dos partes la primera es la recepción de órdenes de compra emitidas por la empresa y la segunda es el proceso de levantamiento de pedidos.

En la Figura 3.2 se ilustra el proceso de recepción de órdenes de compra que consiste en tres pasos: (1) la recepción de las órdenes emitidas por la empresa, (2) inspección de las partes y las cantidades, y (3) la ubicación de los productos en su lugar correspondiente dentro del almacén. Por otro lado, el proceso de entrega de pedidos implica seis pasos: (1) recepción por parte del responsable del almacén de una lista con los productos y cantidades a entregar, (2) se integra la ubicación de cada producto en el listado, (3) se realiza la recolección del pedido, (4) se realiza una inspección de las partes y las cantidades, (5) se consolidan los pedidos y (6) se cargan los pedidos al transporte seleccionado para su entrega al cliente.

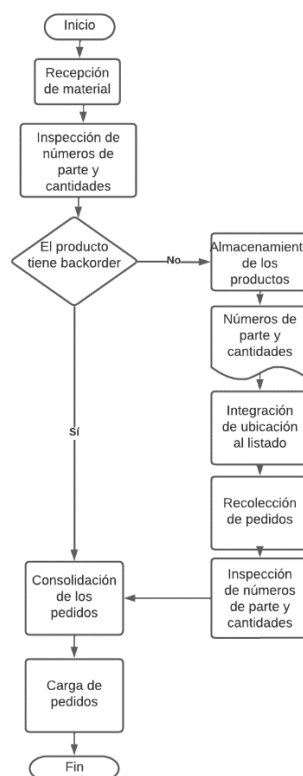


*Figura 3.2 Diagrama de proceso en el almacén.
Fuente: Elaboración propia.*

3.4 Unidades de manejo y equipo para almacenamiento

El almacén estudiado maneja 4 tipos de unidades de manejo de materiales: tarimas, cajas, cajas individuales y productos en granel:

- Tarimas: La recepción de productos se realiza en tarimas, que contienen un solo producto o una combinación de ellos. Estas tarimas se usan principalmente en el área de cargas grandes para almacenar productos terminados.
- Cajas: El material es consolidado en cajas de cartón con 12, 24 y 36 productos dependiendo el tamaño de la caja del producto individual, para su almacenamiento dentro del área de cargas pequeñas.
- Cajas individuales: El producto es almacenado en la carga más pequeña dentro del almacén, son almacenadas y listas para tener recolecciones pequeñas dentro del área de cargas pequeñas son colocadas en las caras de los estantes para tener un fácil acceso. Normalmente la cantidad de producto individualmente es menor a la carga de una caja consolidada.
- Granel: Este tipo de productos no tienen un tamaño de caja específico y se venden en bolsas de plástico, se almacenan en cajas de cartón o de madera, dependiendo de su tamaño. Las cajas de cartón se guardan en el área de cargas pequeñas y las cajas de madera, que ocupan tanto espacio como una tarima, se guardan en el área de cargas grandes.

La empresa para transportar la mercancía cuenta con montacargas de manejo manual para transportar tarimas de un punto a otro dentro del almacén, además se tiene un montacargas de gas el cual se usa para subir a los diferentes niveles del almacén cargas pesadas. Para la recolección de pedidos por piezas se utilizan carretillas de carga con una caja de 60 × 30 cm × 35 cm.

3.5 Planeación del espacio requerido

El dimensionamiento del tamaño del almacén obedece a la capacidad de mantener el producto almacenado para cumplir con la demanda en el periodo de tiempo requerido. En el caso de la empresa caso de estudio se toma en cuenta el volumen de cada producto,

el cual está asociado al tipo de caja o empaque de cada producto, además se toma en cuenta la cantidad de aprovisionamiento y niveles mínimos de inventario en los periodos de tiempos establecidos por la política de inventarios.

3.5.1 Dimensión del almacén

Actualmente, el almacén principal de la empresa tiene por dimensiones 25 m de largo por 16 m de ancho dando un área total de 400 m² es la única superficie disponible para almacenar los productos (Figura 3.3).

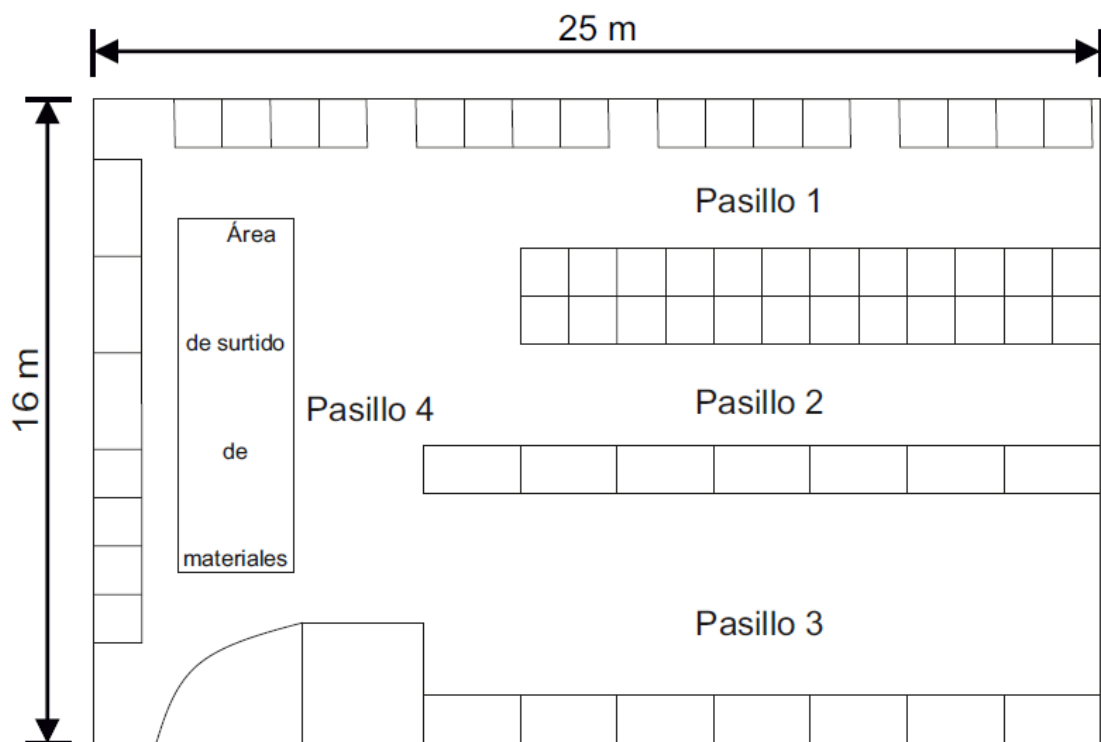


*Figura 3.3 Layout del almacén.
Fuente: Elaboración propia.*

Actualmente, el almacén tiene 4 pasillos, el pasillo 1 tiene dimensiones de 12 m × 8 m; el pasillo 2 y 3 tienen dimensiones de 15 m × 2.5 m y el pasillo 4 tiene dimensiones de 15 m × 17 m.

El almacén en cuestión cuenta con 17 racks con capacidad de dos tarimas por nivel con cuatro niveles. El dimensionamiento de cada tarima es de 1.2 m × 1.2 m × 1 m.

Además, se tiene 44 estantes con dimensiones de 1.2 m × 1.2 m × 0.7 m con cuatro niveles por estante.

La capacidad total de almacenamiento del almacén actual es de 340.608 m³.

3.5.2 Productos

La empresa cuenta con 1317 productos divididos en 10 familias todos elementos de los sistemas de suspensión y dirección. Los productos tienen diferentes dimensiones y son empacados en 13 diferentes tipos de cajas cuyas cantidades de números de parte y dimensiones se indican en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Dimensionamiento de los productos

Tipo de caja	Cantidad números de parte	Dimensiones (cm)
CAJA-1	134	15.2 × 8.5 × 4.6
CAJA-2	114	21.2 × 9.0 × 4.5
CAJA-3	144	24.7 × 8.8 × 6.3
CAJA-4	24	21.0 × 14.3 × 8.0
CAJA-5	89	10.0 × 8.3 × 5.5
CAJA-6	158	12.5 × 8.5 × 6.8
CAJA-7	16	90.2 × 8.8 × 6.5
CAJA-8	43	49.5 × 8.8 × 6.5
CAJA-9	65	30.4 × 5.0 × 5.0
CAJA-10	8	65.5 × 8.8 × 6.5
CAJA-11	167	37.0 × 7.5 × 6.0
CAJA-12	71	10.0 × 8.0 × 14.0
CAJA-13	30	30.0 × 14.5 × 77.0

Fuente: Elaboración propia.

Se dispone de la información revisada por el gerente de la planta y el área de ventas en donde se estima la demanda esperada para cada producto.

3.6 Análisis ABC de los productos de la empresa

Se llevó a cabo un análisis para determinar la clasificación de cada producto basado en la frecuencia con la que los productos son solicitados, se analizaron 1317 números de parte para clasificarlas en 3 clases: A, B y C. Por cuestiones de confidencialidad se manejan etiquetas diferentes para los productos de la empresa las cuales van de N1 a N1317.

Tabla 3-2 Análisis ABC

Participación estimada	Clasificación	Cantidad	Porcentaje de productos	Frecuencia de movimiento
0% - 80%	A	250	18.98%	80%
81%-95%	B	498	37.81%	15%
96% - 100%	C	569	43.20%	5%

Fuente: Elaboración propia.

El análisis ABC (Tabla 3-2) muestra que la clasificación de productos tipo A los cuales incluyen elementos que se mueven con mayor regularidad son 240 productos con el 80% de frecuencia de productos solicitados lo cual genera movimiento dentro del almacén, los productos tipo B son productos con frecuencia moderada y equivale a 448 productos lo que representan el 15% frecuencia de productos solicitados y finalmente, los productos tipo C tienen el 5% de participación son elementos de baja frecuencia representan 629 productos del total de los productos. En la Figura 3.4 se muestra un gráfico que ilustra el análisis ABC.

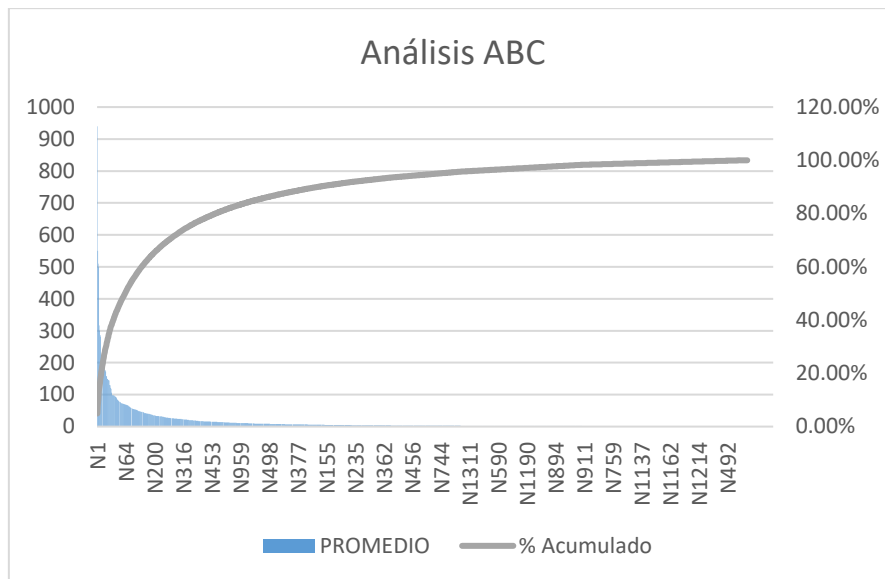


*Figura 3.4 Análisis ABC.
Fuente: Elaboración propia.*

3.7 Preparación de posibles layouts del almacén

Los diseños propuestos se presentan en función de variables geométricas como son la estantería y su arreglo. Se consideran diseños rectangulares ya que de esta manera se trabaja con el mismo diseño geométrico para estanterías y productos; en el caso de los productos se manejan en cajas de cartón y cajas de madera para productos que solo vienen empacados en bolsa.

Son presentados dos propuestas de layout en donde se proponen diferentes orientaciones de la estantería, en ambos casos se propone un punto de comienzo y finalización del proceso de levantamiento de pedidos.

3.7.1 Layout 1

El primer layout analizado tiene la orientación de los anaqueles paralelos a las paredes verticales, se considera los anaqueles tienen doble lugar de almacenamiento y tiene de ambos lados acceso. En este caso el anaquel pegado a la pared es la mitad del ancho de un estante doble (Figura 3.5).

Los valores para realizar el análisis son los siguientes:

$n_1 = 2, n_2 = 2, w = 2.4 \text{ m}, a_1 = 2 \text{ m}, a_2 = 2.7 \text{ m}, a_3 = 4.8 \text{ m}, m = 8, L = 1.2 \text{ m}, h = 2.8 \text{ m}, d = 52168.$

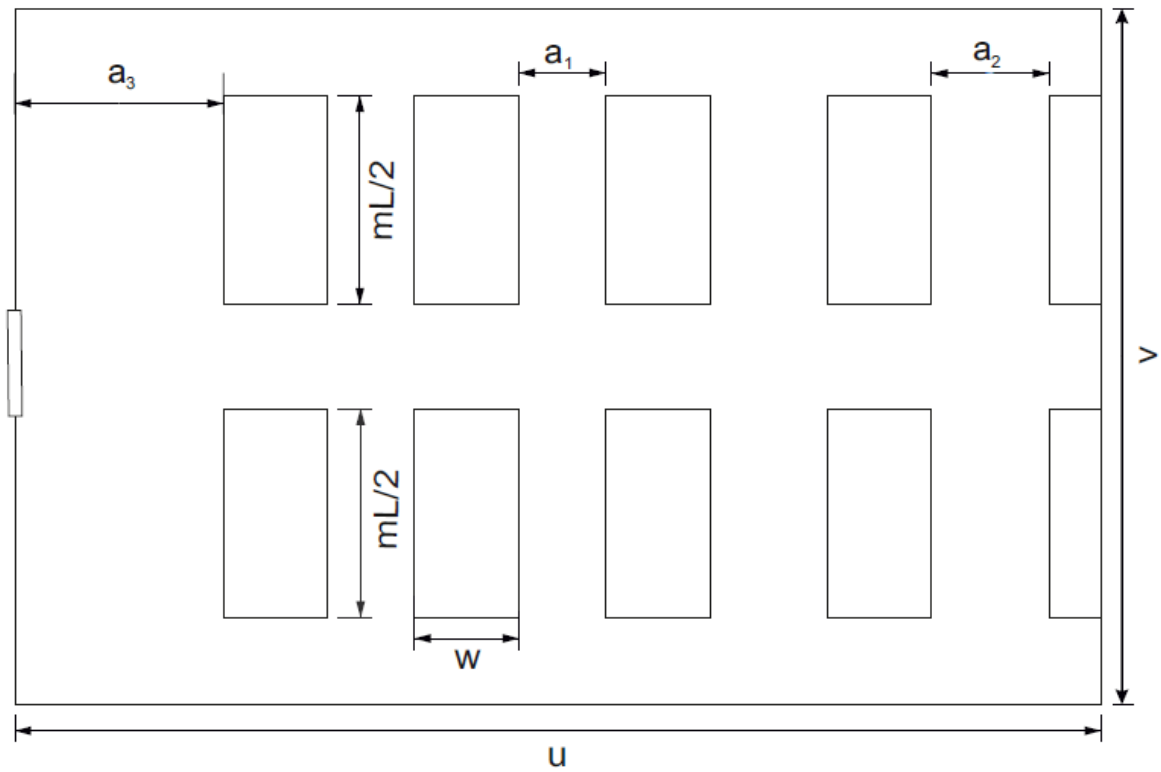


Figura 3.5 Layout 1.
Fuente: Elaboración propia.

La dimensión longitudinal está dada por:

$$u = a_3 + n_1(a_1) + (n_1 + n_2)(w) + n_2(a_2) + .5w \quad (3-1)$$

$$u = 4.8 \text{ m} + 2(2 \text{ m}) + (2 + 2)(2.4 \text{ m}) + 2(2.7 \text{ m}) + .5(2.4 \text{ m}) = 25 \text{ m} \quad (3-2)$$

La dimensión cruzada está dada por:

$$v = 3a_1 + mL \quad (3-3)$$

$$v = 3(2 \text{ m}) + 8(1.2 \text{ m}) = 15.6 \text{ m} \quad (3-4)$$

La distancia de recorrido promedio en el eje horizontal depende de la probabilidad de cada tipo de clase de los productos en donde se considera tener los productos tipo A, B y C, cerca de la puerta dependiendo de su importancia.

$$\begin{aligned}
T_u = a_3 + P_A \left(\frac{n_A(w + a_1)}{2} \right) + P_B \left(n_A(w + a_1) + \frac{n_B(w + a_1)}{2} \right) \\
+ P_C \left(n_A(w + a_1) + n_B(w + a_2) + \frac{n_C(w + a_2) + .5w}{2} \right)
\end{aligned} \quad (3-5)$$

De acuerdo con el espacio requerido para cada tipo de producto se divide el almacén en 3 partes A, B y C como se muestra en la Figura 3.6:

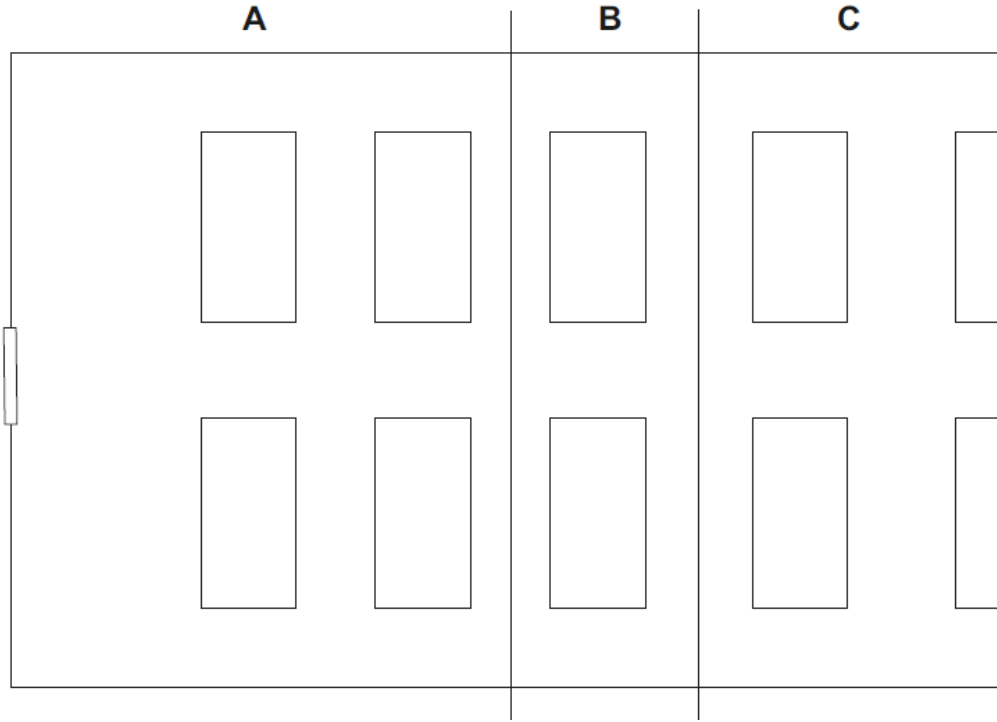


*Figura 3.6 Layout 1 división ABC.
Fuente: Elaboración propia.*

Donde:

$$n_A = 2, n_B = 1, n_C = 2$$

$$\begin{aligned}
T_u = 4.8 \text{ m} + 0.8 \left(\frac{2 (2.4 \text{ m} + 2 \text{ m})}{2} \right) + .15 \left(2 (2.4 \text{ m} + 2 \text{ m}) + \frac{1 (2.4 \text{ m} + 2 \text{ m})}{2} \right) \\
+ .05 \left(2 (2.4 \text{ m} + 2 \text{ m}) + 1 (2.4 \text{ m} + 2 \text{ m}) \right. \\
\left. + \frac{2 (2.4 \text{ m} + 2.7 \text{ m}) + .5(2.4 \text{ m})}{2} \right) = 10.915 \text{ m}
\end{aligned} \quad (3-6)$$

La distancia de viaje vertical está dada por la Ecuación (3-7):

$$T_v = \frac{3a_1 + mL}{4} \quad (3-7)$$

$$T_v = \frac{3(2\text{ m}) + 4(1.2\text{ m})}{4} = 2.7\text{ m} \quad (3-8)$$

La distancia promedio de viaje en la altura del último eje está dada por la Ecuación (3-9):

$$T_h = \frac{h}{2} \quad (3-9)$$

$$T_h = \frac{2.8\text{ m}}{2} = 1.4\text{ m} \quad (3-10)$$

La distancia de viaje promedio anual para el acomodo propuesto es la Ecuación (3-11):

$$\begin{aligned} T_1 = 4d \left[a_3 + P_A \left(\frac{n_A(w + a_1)}{2} \right) + P_B \left(n_A(w + a_1) + \frac{n_B(w + a_1)}{2} \right) \right. \\ \left. + P_C \left(n_A(w + a_1) + n_B(w + a_2) + \frac{n_C(w + a_2) + .5w}{2} \right) \right. \\ \left. + \frac{3a + mL}{4} + \frac{h}{2} \right] \end{aligned} \quad (3-11)$$

$$T_1 = 4(52168)(10.915\text{ m} + 2.7\text{ m} + 1.4\text{ m}) = 3,133,210.08\text{ m} \quad (3-12)$$

El costo anual de manejo por año está dado por la distancia promedio recorrida por el costo de mover una unidad de almacenamiento una unidad de longitud.

$$\begin{aligned}
C_1 = 4d \left[P_A \left(\frac{n_A(w_A + a_A)}{2} \right) + P_B \left(n_A(w_A + a_A) + \frac{n_B(w_B + a_B)}{2} \right) \right. \\
+ P_B \left(n_A(w_A + a_A) + n_B(w_B + a_B) + \frac{n_C(w_C + a_C) + .5w}{2} \right. \\
\left. \left. + \frac{3a + mL}{4} + \frac{h}{2} \right) \right] C_h
\end{aligned} \tag{3-13}$$

$$C_1 = (3,133,210.08 \text{ m}) \left(0.12 \frac{\$}{\text{m}} \right) = \$ 375,985.2 \tag{3-14}$$

3.7.2 Layout 2

El segundo layout analizado tiene la orientación de los anaqueles paralelos a las paredes horizontales, los anaqueles pegados a la pared se consideran uno solo (Figura 3.7). Se considera el punto de comienzo y finalización del proceso de levantamiento de pedidos en la mitad de la pared del eje vertical.

Los valores para realizar el análisis son los siguientes:

$n = 3$, $w = 2.4 \text{ m}$, $a_1 = 2.9 \text{ m}$, $a_2 = 5.3 \text{ m}$, $a_3 = 5.3 \text{ m}$, $m = 14$, $L = 1.2 \text{ m}$, $h = 4$, $d = 52,168$.

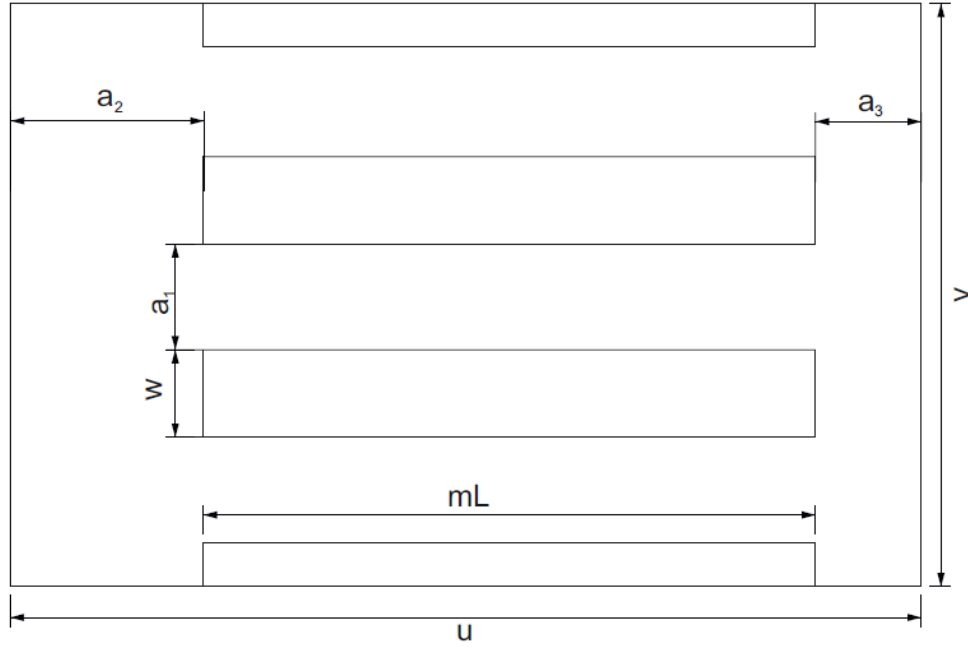


Figura 3.7 Layout 2.
Fuente: Elaboración propia.

La dimensión longitudinal está dada por la Ecuación (3-15):

$$u = a_1 + a_3 + mL \quad (3-15)$$

$$v = 3(2 \text{ m}) + 8(1.2 \text{ m}) = 15.6 \text{ m} \quad (3-16)$$

La dimensión cruzada está dada por la Ecuación (3-17):

$$v = n (w + a_1) \quad (3-17)$$

$$v = 3 (2.4 \text{ m} + 2.9 \text{ m}) = 15.9 \text{ m} \quad (3-18)$$

La distancia de recorrido promedio en el eje horizontal depende de la probabilidad de cada tipo de clase de los productos en donde se considera tener los productos tipo A, B y C, cerca de la puerta dependiendo de su importancia.

$$T_u = a_2 + P_A \left(\frac{m_A L}{2} \right) + P_B \left((m_A L) + \frac{(m_B L)}{2} \right) + P_C \left((m_A L) + (m_B L) + \frac{(m_C L)}{2} \right) \quad (3-19)$$

De acuerdo con el espacio requerido por cada tipo de producto el almacén es dividido en tres partes como se muestra en la siguiente Figura 3.8:

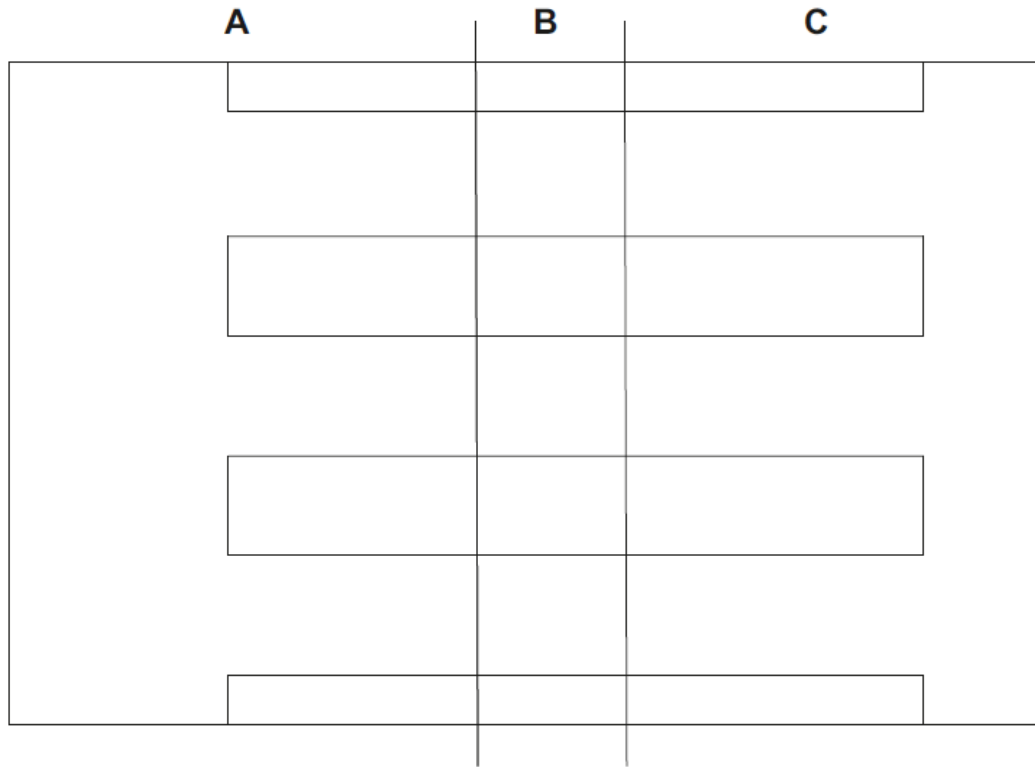


*Figura 3.8 Layout 2 división ABC.
Fuente: Elaboración propia.*

Donde:

$$m_A = 5, m_B = 3, m_C = 6$$

$$T_u = 5.3 \text{ m} + 0.8 \left(\frac{5(1.2 \text{ m})}{2} \right) + .15 \left((5)(1.2 \text{ m}) + \frac{3(1.2 \text{ m})}{2} \right) + .05 \left((5)(1.2 \text{ m}) + 3(1.2 \text{ m}) + \frac{6(1.2 \text{ m})}{2} \right) = 9.53 \text{ m} \quad (3-20)$$

La distancia de viaje vertical está dada por la siguiente función:

$$T_v = \frac{n(w + a_1)}{4} \quad (3-21)$$

$$T_v = \frac{3(2.4 \text{ m} + 2.9 \text{ m})}{4} = 3.975 \text{ m} \quad (3-22)$$

La distancia promedio de viaje en la altura del último eje está dada por la siguiente ecuación:

$$T_h = \frac{h}{2} \quad (3-23)$$

$$T_h = \frac{2.8 \text{ m}}{2} = 1.4 \text{ m} \quad (3-24)$$

La distancia de viaje promedio anual está dada por la suma de los viajes en los ejes horizontales, verticales y la altura dentro del almacén; multiplicado por cuatro ya que son los movimientos que se realizan dentro del almacén entre los que están poner en el lugar de almacenamiento y levantamiento del lugar del almacenamiento en donde se tiene que realizar el recorrido dos veces (Ecuación 3-25).

$$T_2 = 4d \left[a_2 + P_A \left(\frac{m_A L}{2} \right) + P_B \left((m_A L) + \frac{(m_B L)}{2} \right) + P_C \left((m_A L) + (m_B L) + \frac{(m_C L)}{2} \right) + \frac{n(w + a_1)}{4} + \frac{h}{2} \right] \quad (3-25)$$

$$T_2 = 4(52168)(9.53 \text{ m} + 3.975 \text{ m} + 1.4 \text{ m}) = 3,110,256.84 \text{ m} \quad (3-26)$$

El costo anual de manejo por año está dado por la distancia promedio recorrida por el costo de mover una unidad de almacenamiento (Ecuación 3-27).

$$C_2 = 4d \left[a + P_A \left(\frac{m_A L}{2} \right) + P_B \left((m_A L) + \frac{(m_B L)}{2} \right) + P_C \left((m_A L) + (m_B L) + \frac{(m_C L)}{2} \right) + \frac{n(w + a)}{4} + \frac{h}{2} \right] C_h \quad (3-27)$$

$$C_2 = (2315215.84) \left(0.12 \frac{\$}{\text{m}} \right) = \$ 373,230.73 \quad (3-28)$$

3.8 Asignación de productos a espacios de almacenamiento

Una vez realizada la decisión de acomodo de estantería dentro del almacén se procede a asignar los productos a cada uno de los lugares de almacenamiento dentro del almacén, existen diversas estrategias de localización de los productos entre ellas el almacenamiento basado en clases en donde los productos son asignados a zonas o áreas específicas dentro del almacén, los productos previamente analizados con un análisis ABC son asignados de manera que los productos con mayor demanda se coloquen a una distancia mínima del punto en donde empieza y termina el recorrido.

De acuerdo con Goetschalckx (2012) las características del producto que son utilizadas para realizar este análisis es la tasa de demanda previamente calculada, el inventario máximo durante un horizonte de planificación o el índice de rotación.

Para realizar el análisis de inventario de cada producto se necesita conocer el proveedor el cual, para efectos de este estudio se toma en cuenta el proveedor que tiene el menor costo, si el proveedor seleccionado es P1 de la Tabla 3-3 la cantidad de reaprovisionamiento en el horizonte de planeación debe ser mayor a 20. Si esta regla no se cumple se tiene que buscar el siguiente más bajo.

Tabla 3-3 Tiempos de entrega y cantidad de productos por proveedor

Proveedor	Tiempos de entrega (meses)	Cantidad de productos por proveedor
P1	3 meses	266
P2	1 mes	640
P3	1 mes	281
P4	0.75 mes	130

Fuente: Elaboración propia.

Los tiempos de entrega están determinados desde que se emite la orden de compra hasta que el proveedor hace la entrega al cliente, para el caso del proveedor 1 se tiene un tiempo de entrega alto. Esto se debe a la distancia geográfica que existe, además de la programación que necesita el proveedor para producir cada uno de los productos ordenados, para el caso de los proveedores 1 y 2 el tiempo de entrega es 1 mes y por último se tiene el proveedor 4 con 1 semana de tiempo de entrega; esto se debe a que el proveedor es nacional.

Para mantener un nivel de servicio arriba del 95% se propone establecer un inventario de seguridad por cada producto el cual es la cantidad de existencia que la empresa mantiene para satisfacer la demanda mientras se recibe el reabastecimiento de cada uno de los productos determinado por el tiempo que tarda cada proveedor.

El inventario de seguridad en función de la siguiente formula:

$$IS = k\sigma_L \quad (3-29)$$

Donde:

k – factor de seguridad, se determina de acuerdo con el nivel de servicio que la empresa quiere ofrecer.

σ_L – Se estima la desviación estándar sobre el tiempo de reposición tomando en cuenta el tiempo de reposición mensual (L).

Para un sistema de control continuo se estima:

$$\sigma_L = \sigma_1\sqrt{L} \quad (3-30)$$

Para el tiempo de reposición mensual se tiene tres diferentes alternativas; (1) 3 meses, (2) 1 meses y (3) 0.75 meses.

Para los productos tipo A y B la empresa ha decidido adoptar una política de inventario (s, Q). Esta política implica mantener una cantidad fija de inventario para cada producto y reabastecerlo cuando los niveles de inventario llegan al punto de reorden s . El valor de s es influenciado por un factor de seguridad que se determina según el nivel de servicio que la empresa quiere ofrecer para cada clase de producto. Para este estudio en particular, se ha especificado un nivel de servicio del 95%.

En el caso de los productos tipo C, la empresa ha elegido adoptar una política de inventario (R, S) con un intervalo de revisión R establecido en 3 meses. Para determinar el tiempo promedio entre ocurrencias de faltantes, se ha calculado la frecuencia con la que se han registrado faltantes y demanda, lo cual permite establecer un factor de seguridad para cada uno de los productos de tipo C. Al igual que con los productos de las clases anteriores, se determina el proveedor y su tiempo de aprovisionamiento. Finalmente, se

establece un inventario máximo para cada producto, el cual equivale al espacio asignado para ese número de parte.

Teniendo en cuenta la cantidad máxima de cada producto determinada por los sistemas anteriores, se procede a calcular el espacio frontal que cada uno ocupará en los estantes, en función de las dimensiones de sus respectivas cajas. Para realizar este cálculo, se debe considerar el tipo de empaque de cada producto, ya que esto afectará la medida frontal de las cajas. Algunos productos tienen empaques grupales, mientras que otros tienen empaques individuales, dependiendo de las necesidades de inventario de cada producto. Cada una de estas medidas frontales tiene un número máximo de productos individuales que son colocados detrás del espacio asignado por frente.

Se calcula la cantidad de frentes necesarios para cada producto y se determina la cantidad de estantes necesarios para alojarlos, para el caso práctico del estudio si se determina considerar los empaques grupales se le aumenta una holgura de 2 cm por cada lado para su fácil manipulación, para el caso de los estantes necesarios si los productos ocupan arriba del 75 % de un frente de estante se determina asignar el frente del estante completo. Se considera que el almacén tiene la capacidad suficiente para almacenar los tres diferentes tipos de clases, teniendo una capacidad de 400 m de capacidad de almacenamiento total.

Los productos son asignados de acuerdo con el tipo de clase dependiendo la importancia se determina de menor a mayor distancia. Se determina la frecuencia de acceso para cada producto la cual está dada por el proceso de manipular cada producto y recuperarlo del lugar de almacenamiento.

Para calcular la distancia recorrida dentro del almacén, se establece un punto de inicio y un punto final para la recolección de pedidos para esto se determina 3 ejes con las siguientes consideraciones (Figura 3.9):

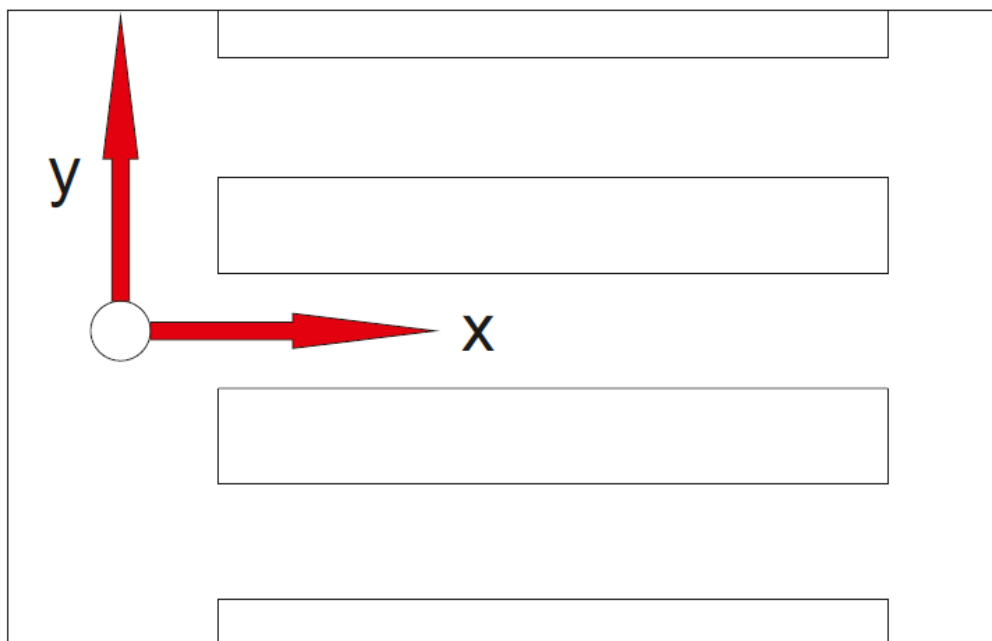


*Figura 3.9 Ejes de desplazamiento dentro del almacén.
Fuente: Elaboración propia.*

Eje X: Se considera el eje paralelo a la pared más larga.

Eje Y: Se considera el eje paralelo a la pared más corta.

Eje Z: Para el eje z se considera la altura de los estantes el eje medio se considera en 1.70 m tomando en cuenta que es la estatura promedio de un hombre en México.

En la Figura 3.10 se ilustra la nomenclatura de cada lugar de almacenamiento basándose en la representación ilustrada en la Figura 3.11. En esta nomenclatura, la primera cifra se refiere a las columnas numeradas del 1 al 14. Las filas se identifican con seis letras diferentes, desde A hasta F. Por último, se hace referencia al nivel o altura del estante que van desde 1 hasta 4.

1	A	1
Columna	Fila	Altura

Figura 3.10 Nomenclatura de espacios dentro del almacén.

Fuente: Elaboración propia.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A														
B														
C														
D														
E														
F														

Figura 3.11 Filas y columnas en el almacén.

Fuente: Elaboración propia.

3.8.1 Construcción del modelo de asignación de espacios dentro del almacén

El modelo desarrollado en este Trabajo Terminal de Grado es tomado del modelo de Goetschalckx en 2012. Este modelo tiene como objetivo optimizar la distribución de productos y mejorar la eficiencia del proceso de almacenamiento y levantamiento de pedidos. A través de este modelo se pretende obtener una asignación eficiente de lugares, minimizando la distancia en el proceso de levantamiento de pedidos. El modelo es el siguiente:

Índices:

$i = \{1, \dots, 1317\}$ indica el número de parte

$j = \{1 A 1, \dots, 14 F 4\}$ indica el lugar de almacenamiento

Parámetros:

f_i : Frecuencia de accesos para cada producto i .

e_{ij} : Costo esperado de viaje a la ubicación j para la recolección del producto i .

S_i : Frente necesario para alojar el inventario del producto i para cubrir la demanda en un horizonte de planeación.

g_i : Medida del frente del producto i .

Variable de decisión

x_{ij} : Cantidad de producto i en el lugar de almacenamiento j .

Función objetivo:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{1317} \sum_{j=1A1}^{14F4} (2f_i e_{ij}) X_{ij} \quad (3-31)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1A1}^{14F4} X_{ij} g_i \geq S_i \quad \forall i = 1, \dots, 1317 \quad (3-32)$$

$$\sum_{i=1}^{1317} X_{ij} g_i \leq 1.2 \quad \forall j = 1A1, \dots, 14F4 \quad (3-33)$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ y entera} \quad (3-34)$$

La función objetivo (3-31) busca minimizar el costo total, que es la suma del producto de la frecuencia de acceso, el costo de viaje y la cantidad de producto en cada ubicación. El primer conjunto de restricciones (3-32) asegura la cantidad de productos en cada lugar de almacenamiento satisfaga la demanda de cada producto. El segundo conjunto de restricciones (3-33) limita el espacio de almacenamiento total utilizado en cada ubicación. La última restricción (3-34) establece que la cantidad de productos en cada ubicación debe ser no negativa y un número entero.

Capítulo 4 Análisis de resultados

4.1 Diseño de layout

En la evaluación de los distintos layouts propuestos, se considera el costo beneficio de cada arreglo, así como el tiempo para completar las tareas dentro del layout. Se considera el costo de manejo de materiales (C_h), es decir el movimiento que se realiza al llevar el producto al lugar de almacenamiento regresar al punto de partida, ir a la recogida del producto y llevarlo al punto final del proceso de levantamiento de pedidos. La siguiente Tabla 4-1 muestra la distancia promedio anual recorrida y el costo anual de manejo por año.

Tabla 4-1 Costo anual de manejo por año de cada layout

	Distancia promedio anual (m)	Costo anual de manejo por año (\$)
Layout 1	3,133,210.08	375,985.20
Layout 2	3,110,256.84	373,230.73

Fuente: Elaboración propia.

Los costos anuales por año son aproximadamente iguales, para determinar la mejor distribución de la estantería dentro del almacén se toma en cuenta el costo que representa mover de orientación los estantes. En este caso, el layout que representa el menor costo para esta operación es el layout 2 (Figura 3.7) ya que tomando en cuenta la situación actual los estantes tienen la orientación adecuada y se realizarían pocos movimientos.

4.2 Asignación de productos

El modelo se resolvió en el software GAMS (General Algebraic Modeling System) versión 23.5.1 con un procesador Intel Core i3-6006U con 8 GB de RAM, el modelo es solucionado con CPLEX en 84.359 segundos, los resultados son mostrados en el Anexo 2. El modelo consta de 442,512 variables enteras y 1,765 restricciones.

Los resultados muestran la asignación de ubicación de espacio dentro del almacén para cada uno de los productos del catálogo existente de la empresa. En la Figura 4.1 se

muestra la distribución por clases dentro del almacén tipo A (verde), tipo B (amarillo) y C (rojo).

1A4	2A4	3A4	4A4	5A4	6A4	7A4	8A4	9A4	10A4	11A4	12A4	13A4	14A4
1A3	2A3	3A3	4A3	5A3	6A3	7A3	8A3	9A3	10A3	11A3	12A3	13A3	14A3
1A2	2A2	3A2	4A2	5A2	6A2	7A2	8A2	9A2	10A2	11A2	12A2	13A2	14A2
1A1	2A1	3A1	4A1	5A1	6A1	7A1	8A1	9A1	10A1	11A1	12A1	13A1	14A1

1B1	2B1	3B1	4B1	5B1	6B1	7B1	8B1	9B1	10B1	11B1	12B1	13B1	14B1
1B2	2B2	3B2	4B2	5B2	6B2	7B2	8B2	9B2	10B2	11B2	12B2	13B2	14B2
1B3	2B3	3B3	4B3	5B3	6B3	7B3	8B3	9B3	10B3	11B3	12B3	13B3	14B3
1B4	2B4	3B4	4B4	5B4	6B4	7B4	8B4	9B4	10B4	11B4	12B4	13B4	14B4
1C4	2C4	3C4	4C4	5C4	6C4	7C4	8C4	9C4	10C4	11C4	12C4	13C4	14C4
1C3	2C3	3C3	4C3	5C3	6C3	7C3	8C3	9C3	10C3	11C3	12C3	13C3	14C3
1C2	2C2	3C2	4C2	5C2	6C2	7C2	8C2	9C2	10C2	11C2	12C2	13C2	14C2
1C1	2C1	3C1	4C1	5C1	6C1	7C1	8C1	9C1	10C1	11C1	12C1	13C1	14C1

1D1	2D1	3D1	4D1	5D1	6D1	7D1	8D1	9D1	10D1	11D1	12D1	13D1	14D1
1D2	2D2	3D2	4D2	5D2	6D2	7D2	8D2	9D2	10D2	11D2	12D2	13D2	14D2
1D3	2D3	3D3	4D3	5D3	6D3	7D3	8D3	9D3	10D3	11D3	12D3	13D3	14D3
1D4	2D4	3D4	4D4	5D4	6D4	7D4	8D4	9D4	10D4	11D4	12D4	13D4	14D4
1E4	2E4	3E4	4E4	5E4	6E4	7E4	8E4	9E4	10E4	11E4	12E4	13E4	14E4
1E3	2E3	3E3	4E3	5E3	6E3	7E3	8E3	9E3	10E3	11E3	12E3	13E3	14E3
1E2	2E2	3E2	4E2	5E2	6E2	7E2	8E2	9E2	10E2	11E2	12E2	13E2	14E2
1E1	2E1	3E1	4E1	5E1	6E1	7E1	8E1	9E1	10E1	11E1	12E1	13E1	14E1

1F1	2F1	3F1	4F1	5F1	6F1	7F1	8F1	9F1	10F1	11F1	12F1	13F1	14F1
1F2	2F2	3F2	4F2	5F2	6F2	7F2	8F2	9F2	10F2	11F2	12F2	13F2	14F2
1F3	2F3	3F3	4F3	5F3	6F3	7F3	8F3	9F3	10F3	11F3	12F3	13F3	14F3
1F4	2F4	3F4	4F4	5F4	6F4	7F4	8F4	9F4	10F4	11F4	12F4	13F4	14F4

Figura 4.1 Distribución de productos por clase dentro del almacén

Fuente: Elaboración propia.

Se llevó a cabo un análisis de los resultados de la distancia promedio recorrida para la recolección de 30 pedidos distintos que tenían entre 11 y 29 números de parte, considerando la distribución promedio de los números de parte en una lista de levantamiento de pedidos. Las órdenes consideran tener productos de clase A, B y C con la probabilidad de que los productos A sean los más requeridos en la lista, cada producto tiene una cantidad promedio de pedido, la ubicación en el layout actual y el propuesto como se representa en la siguiente Tabla 4-2:

Tabla 4-2 Ejemplo de lista de productos para levantamiento de pedidos.

Ítem	Artículo	Cantidad	Ubicación en el layout propuesto	Ubicación en el layout actual
1	N703	3	7B1	423
2	N89	1	1A2	222
3	N59	3	4B2	184
4	N2	37	5A1	111
5	N10	7	3B1	142
6	N8	2	7A3	164
7	N635	1	7B3	434
8	N124	1	2A4	233
9	N293	3	8C3	751
10	N173	1	7B1	543
11	N21	15	1A3	1102
12	N7	18	7A1	134
13	N14	6	9C3	143

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizaron dos matrices de distancia, una para el diseño actual del almacén y otra para la propuesta, para obtener los resultados de distancia promedio recorrida entre los distintos puntos en el almacén. Cada orden se procesó comenzando en el punto más cercano al punto de partida y luego recorriendo el almacén según el punto más cercano a visitar, hasta visitar cada uno de ellos y finalmente regresar al punto de partida como se muestra en la Tabla 4-3 para el layout actual y en la Tabla 4-4 para el layout propuesto.

Tabla 4-3 Matriz de distancias para el levantamiento de pedidos en layout actual.

Ubicación	Punto de inicio	164	143	233	142	184	222	134	1102	111	751	423	434	543
164	5.1	3.2	10	4	9	7.1	4.7	5.6	6.8	18.4	10.5	21.5	29.7	24.3
143	5.9	4	10.8	0	5	7.9	0.7	6.4	2.8	19.2	11.3	22.3	30.5	25.1
233	6.6	10.5	1.9	11.3	16.3	4.8	12	8.1	14.1	17.9	0	11	19.2	13.8
142	6.6	4.7	11.5	0.7	5.7	8.6	1.4	7.1	3.5	19.9	12	23	31.2	25.8
184	7.5	5.6	7.6	6.4	11.4	4.7	7.1	3.2	9.2	16	8.1	19.1	27.3	21.9
222	8.5	10	1.4	10.8	15.8	4.3	11.5	7.6	13.6	19.8	1.9	12.9	21.1	15.7
134	8.7	6.8	13.6	2.8	5.4	10.7	3.5	9.2	3.2	22	14.1	25.1	33.3	27.9
1102	9	7.1	4.3	7.9	12.9	1.4	8.6	4.7	10.7	12.7	4.8	15.8	24	18.6
111	10.9	9	15.8	5	2.8	12.9	5.7	11.4	5.4	24.2	16.3	27.3	35.5	30.1
751	13.3	18.4	19.8	19.2	24.2	12.7	19.9	16	22	2.8	17.9	21.3	28.9	25.5
423	16.4	21.5	12.9	22.3	27.3	15.8	23	19.1	25.1	21.3	11	0	8.2	2.8
434	19.2	24.3	15.7	25.1	30.1	18.6	25.8	21.9	27.9	25.5	0	2.8	8.6	3.2
543	24.6	29.7	21.1	30.5	35.5	24	31.2	27.3	33.3	28.9	19.2	8.2	0	8.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-4 Matriz de distancias para el levantamiento de pedidos en layout propuesto.

Ubicación	Punto de inicio	1A3	1A2	3B1	4B2	2A4	8C3	9C3	7B3	5°1	7B1	7B1	7°3	7°1
1A3	6.85	0	0.7	1.9	2.4	2.8	8.6	16.1	6.7	5.3	6.7	6.2	7.2	17.3
1A2	7.55	0.7	1.4	2.6	3.1	3.5	9.3	16.8	7.4	6	7.4	6.9	7.9	18
3B1	8.75	1.9	2.6	2.8	3.3	3.7	9.5	18	7.6	6.2	7.6	7.1	8.1	19.2
4B2	9.25	2.4	3.1	3.3	1.4	2.8	7.6	18.5	5.7	4.3	5.7	5.2	6.2	19.7
2A4	9.65	2.8	3.5	3.7	2.8	3.2	9	18.9	7.1	5.7	7.1	6.6	7.6	20.1
8C3	9.95	16.1	16.8	18	18.5	18.9	23.5	0	21.6	20.2	21.6	22.3	22.1	1.2
9C3	11.15	17.3	18	19.2	19.7	20.1	22.3	1.2	20.4	19	20.4	23.5	20.9	0
7B3	12.15	5.3	6	6.2	4.3	5.7	3.3	20.2	1.4	0	1.4	1.9	1.9	19
5A1	13.05	6.2	6.9	7.1	5.2	6.6	5.2	22.3	3.3	1.9	3.3	2.8	3.8	23.5
7B1	13.55	6.7	7.4	7.6	5.7	7.1	4.7	21.6	2.8	1.4	2.8	3.3	3.3	20.4
7B1	13.55	6.7	7.4	7.6	5.7	7.1	4.7	21.6	2.8	1.4	2.8	3.3	3.3	20.4
7A3	14.05	7.2	7.9	8.1	6.2	7.6	1.4	22.1	3.3	1.9	3.3	3.8	0	20.9
7A1	15.45	8.6	9.3	9.5	7.6	9	2.8	23.5	4.7	3.3	4.7	5.2	1.4	22.3

Fuente: Elaboración propia.

Se presentan los primeros 10 resultados de distancia recorrido promedio en ambos diseños de layout y el ahorro promedio de distancia recorrida por utilizar el layout y la asignación de lugares propuesto (Tabla 4-5):

Tabla 4-5 Comparación de distancias recorridas

Pedido	Números de parte	Propuesta	Actual	Ahorro
		Distancia recorrida (m)	Distancia recorrida (m)	Ahorro distancia
1	12	57.3	84.5	32%
2	29	118.9	178.2	33%
3	18	101.15	150	33%
4	20	93.43	119.4	22%
5	16	81.75	100.7	19%
6	25	231	286.7	19%
7	24	181.25	365	50%
8	13	56.95	66.2	14%
9	23	103.75	156.5	34%
10	25	82.5	138.1	40%

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 3 se muestra la comparación de 30 diferentes órdenes, en promedio el ahorro de distancia recorrida con el layout y la asignación de productos en el almacén propuesto es de 30% promedio, siendo ésta la distancia promedio de llegar de un punto a otro en el espacio físico de cada uno de los layouts tomando en cuenta la ubicación de cada producto.

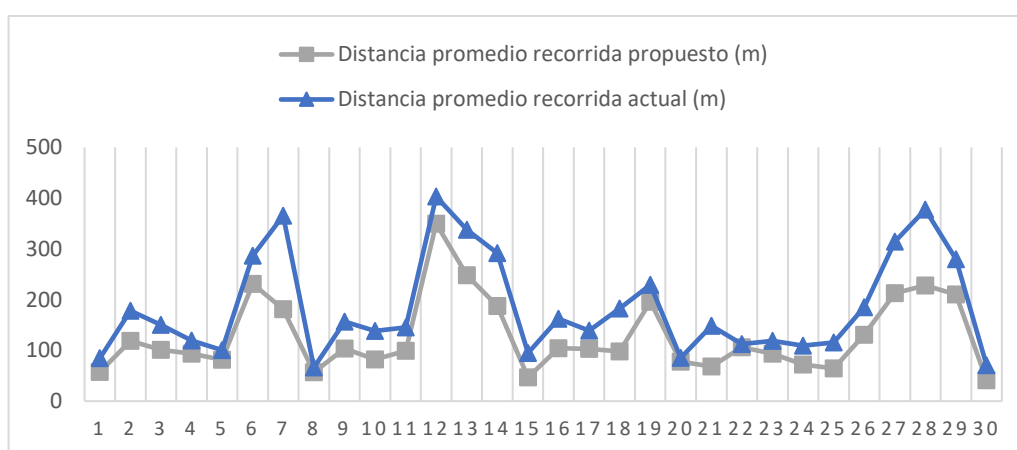


Figura 4.2 Distancias recorridas en el layout actual y el propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.2 muestra una representación visual detallada de las distancias recorridas en 30 pedidos diferentes, facilitando la comparación entre el diseño actual y el propuesto en términos de eficiencia, se observa una tendencia a tener una menor distancia recorrida menor en el layout propuesto siendo el ahorro más evidente aquellos pedidos con mayores números de parte.

Para determinar el tiempo en el proceso de levantamiento de pedidos de un almacén se considera que la velocidad con la que se recorre la distancia calculada en el paso anterior es de 1.4 m/s. Otro factor para considerar es el nivel en el que están almacenados los productos se considera que para el nivel 1 el recolector de pedidos tarda 30 segundos promedio para realizar la recolección del producto que considera tomar el producto del lugar almacenado y llevarlo al transporte con el que se realiza el proceso. Para el segundo nivel es más accesible y se considera un esfuerzo físico menor del recolector tomando en cuenta un tiempo de 20 segundos. El nivel 3 se considera es el más accesible de los estantes ya que es el que se tiene a una altura en donde se tiene los productos a la altura más accesible considerando un tiempo promedio de 15 segundos. Por último, el lugar menos accesible dentro del estante es el nivel 4 se considera un tiempo de 50 segundos promedio ya que para realizar la recolección de pedidos se tiene que apoyar de equipo específico como son una escalera o banco teniendo que realizar el recorrido hacia donde se encuentra el equipo y realizar la escalada hacia el producto teniendo en cuenta que es un tiempo considerable.

Además, se considera la cantidad de producto que se va a recoger de cada número de parte ya que esto cambia el número de recogidas que realiza el recolector de pedidos para el propósito específico del presente Trabajo Terminal de Grado, se considera la cantidad de productos a recoger está entre 1 y 5, se registra el tiempo de recolección solo una vez. Si la cantidad de productos a recoger está entre 6 y 10, se registra el tiempo de recolección dos veces. Si la cantidad de productos a recoger está entre 11 y 15 se registra el tiempo de recolección tres veces, y así sucesivamente cada vez que la cantidad aumenta en 5 unidades.

En el caso particular del layout actual se considera añadir un tiempo de 60 segundos a los productos ubicados en el estante que se encuentra cerca del área de surtido

de materiales ya que en esa área se albergan los productos que están esperando para ser embalados para el envío a los clientes y es de difícil acceso. Se obtienen los siguientes resultados (Tabla 4-6):

Tabla 4-6 Comparación de tiempos para realizar la recolección de pedidos

Pedido	Números de parte	Propuesta	Actual	Ahorro
		Tiempo para completar el pedido (s)	Tiempo para completar el pedido (s)	Ahorro tiempo
1	12	655	700	6%
2	29	1584	1902	17%
3	16	802	1097	27%
4	20	1026	1200	15%
5	16	1273	1388	8%
6	25	1400	2039	31%
7	24	1600	2672	40%
8	13	745	1349	45%
9	23	1514	2103	28%
10	25	1613	2601	38%

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 4 se presentan los resultados para las 30 órdenes presentadas para su análisis. En promedio se tiene un ahorro de tiempo del 31%. Estos datos indican que la propuesta de mejora ha tenido un impacto positivo en la reducción del tiempo promedio para completar el proceso de levantamiento de pedidos propuestos.

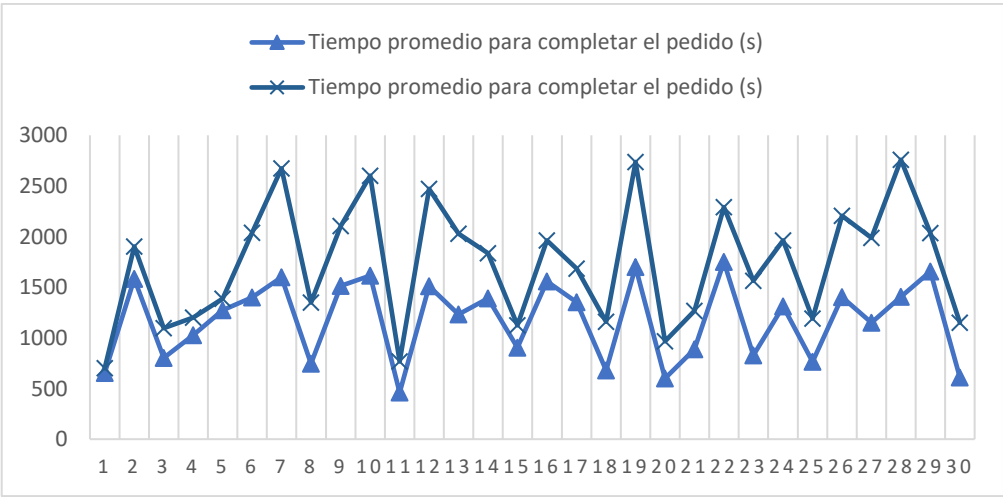


Figura 4.3 Tiempo promedio para completar los pedidos en segundos.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4.3 muestra la diferencia en el tiempo que existe para recolectar cada una de las órdenes, los ahorros mostrados van desde 45 segundos hasta 1351 segundos lo cual se traduce a un ahorro total de 4 horas y 40 minutos, en lugar de realizar un tiempo de 14 horas con 29 minutos se realiza en 9 horas con 49 minutos, lo que representa un ahorro significativo en términos de eficiencia y productividad en comparación con la situación actual.

Conclusiones y recomendaciones

El principal objetivo de este Trabajo Terminal de Grado es minimizar el tiempo en el proceso de levantamiento de pedidos, a través del rediseño de layout de estantería y la asignación a espacios de almacenaje para cada producto, lo cual implica una reducción en las distancias recorridas en el despacho de órdenes de pedido.

La distancia con el diseño y asignación de productos actual para completar la recolección de los 30 pedidos analizados es de 5,546.5 m, para el caso de layout propuesto y la asignación mediante el modelo arroja un resultado de 3,846.22 m. Es decir 44 por ciento menor.

Se contestaron las preguntas de investigación en forma positiva.

- a) ¿Es posible realizar un rediseño de layout que permita disminuir la distancia recorrida dentro del almacén?

Sí, es posible realizar un rediseño de layout que permita disminuir la distancia recorrida dentro del almacén. Esto se logra mediante una reorganización estratégica de los estantes considerando principalmente su orientación ya sea paralelos a la pared más larga o paralelos a la pared más corta, considerando que se tienen limitantes como es el lugar asignado para el almacenamiento de los productos terminados.

Al tener los estantes con la orientación óptima, se reduce la distancia que deben de recorrer los operarios para acceder a los productos ya que se considera en el análisis tener los productos más importantes más cercanos al punto de partida y finalización del proceso de levantamiento de pedidos.

- b) ¿Es posible hacer una redistribución de los productos dentro del almacén que mejore el tiempo de surtido de las órdenes de pedido?

Sí, es posible reorganizar la distribución de los productos en el almacén para mejorar el tiempo de levantamiento de pedidos. Esto implica analizar y modificar la disposición de los productos teniendo en cuenta su participación en las ventas, tamaño y frecuencia de acceso.

La redistribución estratégica consiste en colocar los productos con alta participación en las ventas cerca del punto de inicio y fin del proceso de levantamiento de pedido, de manera que estén fácilmente accesibles y reduzca la distancia recorrida. Además, se considera la clasificación ABC para asignar la ubicación de los productos en función de su importancia en las ventas de la empresa.

Es necesario tener en cuenta el sistema de gestión de inventarios adoptado por la empresa para encontrar un equilibrio entre la cercanía de los productos y la utilización del espacio disponible.

c) ¿Cuáles son las variables que afectan el tiempo durante el levantamiento de pedidos?

Las variables que afectan el tiempo en el levantamiento de pedidos en almacén caso de estudio son las siguientes:

- Ubicación de los productos: La organización dentro del almacén tiene efecto directo en el tiempo de levantamiento de pedidos cuando los productos están en un lugar de difícil acceso se requiere más tiempo para realizar el levantamiento de productos.
- Cantidad de productos: La cantidad de productos a recoger afecta directamente al tiempo en el proceso de levantamiento de pedidos a mayor cantidad de productos mayor es el tiempo de levantamiento de pedidos.
- Capacitación del personal: El nivel de experiencia y capacidad del personal encargado impacta en el tiempo, entre más capacitado sea el personal estará familiarizado con los procedimientos y la ubicación de los productos.

2) Para cumplir los objetivos particulares, se llevaron a cabo las siguientes actividades en el Trabajo Terminal de Grado:

a) Identificar el espacio y recursos disponibles para el rediseño del almacén: Se realizó una evaluación del espacio físico disponible del almacén, además de

identificar los recursos como estanterías, equipos de manipulación y áreas dentro del almacén.

- b) Identificar el diseño de layout que permite disminuir la distancia recorrida dentro del almacén: Se realizó un análisis de los layouts propuestos y se realizó la selección de aquel que minimice la distancia recorrida y el costo anual de transporte para el recorrido del proceso de levantamiento de pedidos, además de seleccionar el diseño que requería un menor costo de inversión en la reorganización de la disposición física de los estantes.
- c) Identificar las variables que influyen en el tiempo del proceso de levantamiento de pedidos: Se analizaron variables relevantes que afectan el tiempo durante el proceso de levantamiento de pedidos como son la ubicación de los productos, la cantidad de productos y la capacitación del personal.
- d) Identificar las características físicas de los productos almacenados: Se recopiló información sobre las características físicas de los productos como son sus dimensiones, con el fin de determinar características especiales de almacenamiento.
- e) Analizar la importancia de los productos sobre las ventas anuales de la empresa para clasificarlos y asignar su mejor ubicación dentro del almacén: Se evaluó la participación de cada producto en las ventas anuales de la empresa y se clasificaron en funciones de su importancia a través de un análisis ABC.
- f) Determinar la cantidad de inventario de cada producto para cumplir con un nivel de servicio específico: Se determinó la cantidad óptima de inventario para cada clase de producto, considerando un nivel de servicio deseado y minimizando el riesgo de exceso de stock o ventas perdidas.
- g) Optimizar la asignación de lugares de almacenamiento para cada producto: Se realizó una redistribución de los productos mediante un modelo de programación lineal entera considerando las restricciones como son el nivel de inventario deseado y la capacidad del almacén, asignando lugares de almacenamiento que minimicen la distancia recorrida en el almacén.
- h) Evaluar la efectividad del método propuesto a través de los indicadores de tiempo de despacho y distancia recorrida del levantamiento de pedido: Se analizó la

distancia recorrida y el tiempo de promedio de recolección de pedidos, con el diseño actual y el propuesto para evaluar su efectividad y realizar comparaciones.

- 3) Se acepta la hipótesis propuesta ya que existe una relación directa entre la distancia recorrida durante el despacho de las órdenes de pedido y el tiempo requerido para completar las órdenes. Cuanto más sea mayor la distancia recorrida, más tiempo se necesitará para realizar el levantamiento de los productos. Al disminuir la distancia recorrida se reduce el tiempo en el levantamiento de pedidos.

El rediseño de layout y la asignación de espacios de almacenamiento de manera óptima disminuyen la distancia de recorrido en general, reduciendo desplazamientos innecesarios y recorridos largos dentro del almacén.

- 4) Se presenta un ahorro en la operación del almacén ya que la propuesta es tener todo el inventario concentrado en lugares asignados dentro del almacén lo que se traduce a reducir la operación de llevar el producto recibido al área de almacenamiento de reserva y de ahí pasarlo al área de levantamiento de los pedidos implicando una operación más cada que se queda sin inventario en la misma, siendo esta la forma en la que se trabaja actualmente. Lo que también permite identificar cuando existen faltantes y excedentes de un producto específico considerando que se quiere cumplir con el nivel de servicio propuesto al realizar el análisis del inventario.
- 5) El uso de modelos matemáticos para la asignación de productos dentro del almacén permite optimizar las distancias recorridas en el proceso de levantamiento de pedidos.
- 6) La aplicación de métodos cuantitativos óptimos a problemas reales apoya a la toma de decisiones de una empresa.
- 7) La experiencia del personal impacta sobre la eficiencia operativa del almacén, como la capacidad de realizar tareas en menor tiempo, minimizar errores y la optimización de los procesos de almacenamiento y recuperación. Además, se gestiona el inventario de una forma más precisa, el personal da seguimiento a las existencias, la gestión de pedidos y reducción de pérdidas por errores de inventario. El personal se adapta a cambios en los procedimientos lo cual ayuda a manejar situaciones inesperadas.

El trabajo de investigación cuenta con temas por profundizar como temas relevantes en trabajos futuros se proponen los siguientes:

- El uso de métodos heurísticos para encontrar las rutas que mejoren el proceso de levantamiento de pedidos, así como la evaluación de diferentes alternativas de recorrido dentro del almacén.
- Uso de modelos matemáticos para optimizar el espacio en el proceso de embalaje de los productos para maximizar el uso de espacio.
- Caso de estudio para analizar un análisis de los diferentes layouts con distintas políticas de asignación de productos dentro de los mismos.

Recomendaciones

Basado en el desarrollo de este Trabajo Terminal de Grado, se pueden ofrecer las siguientes recomendaciones para la empresa:

1. Capacitación de personal, al brindar capacitación al personal encargado de los procesos dentro del almacén se garantiza la eficiencia del almacén, el personal encargado debe contar con información sobre técnicas de almacenamiento eficiente, manipulación de productos y prácticas de seguridad dentro del almacén. Se mejorará la productividad de la empresa y disminuirán los errores. La empresa será capaz de manejar un mayor volumen de pedidos y satisfacer la demanda de los clientes de manera más efectiva.
2. Cambios en el proceso de levantamiento de pedidos. Se proponen mejoras en el proceso de levantamiento de pedidos para maximizar la eficiencia y precisión. Esto incluye la automatización de la integración de las ubicaciones en la lista de levantamiento de pedidos, además, de considerar una estrategia de ruta inteligente, organizando la matriz de lista de levantamiento de pedidos según la matriz de distancias, garantizando la selección de productos de manera óptima, mejorando la eficiencia y precisión en la recolección de cada orden.
3. Uso de tecnología para el etiquetado del producto. Para facilitar la ubicación y seguimiento de los productos en el almacén, facilitando la búsqueda y recuperación de los productos. El uso de tecnología permite una gestión

precisa del inventario lo que minimizara perdidas por productos extraviados o mal gestionados.

4. Definición de indicadores de desempeño claves para medir y monitorear la eficiencia del almacén. La empresa identificará áreas de mejora, establecerá metas y medirá el impacto de las acciones implementadas.
5. Evaluación continua del desempeño del almacén, analizando los resultados obtenidos, identificando áreas de mejora y toma de decisiones basadas en estos datos. Una mayor satisfacción del cliente se traduce a una mayor fidelidad y crecimiento de la empresa como negocio.

Implementar estas recomendaciones beneficiará a la empresa a mejorar la eficiencia de su almacén, reducir los costos operativos, optimizar la gestión de inventario y aumentar el nivel de servicio. Contribuyendo al crecimiento continuo de la empresa en el futuro.

Puntos para resaltar

- **Optimización de almacén:**

La implementación de un nuevo layout permite mejorar la eficiencia y reducir los tiempos de procesamiento. El diseño de estanterías y pasillos redefine como organizamos y accedemos a los productos.

- **Mejora en el proceso de levantamiento de pedidos:**

Reduce los tiempos y distancias recorridas en el proceso de levantamiento de pedidos al asignar los productos de acuerdo con la frecuencia de acceso. Esta estrategia ha optimizado nuestra cadena de suministro, aumentando la velocidad y precisión en el manejo de pedidos.

- **Eficiencia operativa:**

Las mejoras han llevado a una reducción de costos operativos en el almacén. Además, se ha logrado una mejora en los tiempos de entrega de los pedidos, impulsando la eficiencia operativa a niveles más altos.

- **Mejora en el nivel de servicio:**

Gestión de inventario más precisa con un panorama más completo del inventario físico con el sistema al tener asignación de productos por lugar se logra tener mayor visibilidad de inventario faltante o sobrante.

- **Adaptación a nuevos desafíos:**

El proceso de mejora no solo atiende problemas actuales, sino que nos posiciona para adaptarnos ágilmente a cambios futuros en el mercado. Al tener un proceso sostenible se ha fortalecido la capacidad para gestionar aumentos en la demanda y cambios en las condiciones del mercado.

Referencias

- Ardjmand, E., Shakeri, H., Singh, M., & Sanei Bajgiran, O. (2018). Minimizing order picking makespan with multiple pickers in a wave picking warehouse. *International Journal of Production Economics*, 206, 169–183. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.10.001>
- Baker, P., & Canessa, M. (2009). Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193(2), 425–436. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.045>
- Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2008). *Warehouse \& Distribution Science: Release 0.89*. Supply Chain and Logistics Institute Atlanta.
- Bassan, Y., Roll, Y., & Rosenblatt, M. J. (1980). Internal layout design of a warehouse. *AIIE Transactions*, 12(4), 317–322. <https://doi.org/10.1080/05695558008974523>
- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007a). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007b). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Espinal, A., Montoya, R., & Arenas, J. (2010). Gestión de almacenes y tecnologías de la información y comunicación (TIC). *Estudios Gerenciales*, 26, 145–171.
- Geuken, F., & Louise, J. (2015). *Developing a Warehouse Layout Design Framework for Fast Growing Companies*. Lund University.
- Goetschalckx, M. (2012). Storage systems and policies. In R. Manzini (Ed.), *Warehousing in the global supply chain* (pp. 31–51). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2274-6>
- Govindaraj, T., Blanco, E. E., Bodner, D. A., Goetschalckx, M., McGinnis, L. F., & Sharp, G. P. (2000). Design of warehousing and distribution systems: An object model of

- facilities, functions and information. *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2(4), 1099–1104. <https://doi.org/10.1109/icsmc.2000.885998>
- Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2010). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.07.031>
- Hassan, M. M. D. (2002a). A framework for the design of warehouse layout. *Facilities*, 20(13), 432–440. <https://doi.org/10.1108/02632770210454377>
- Hassan, M. M. D. (2002b). A framework for the design of warehouse layout. *Facilities*, 20(13), 432–440. <https://doi.org/10.1108/02632770210454377>
- INEGI. (2022). *Parque vehicular*. <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>
- Malmborg, C. J. (2001). Rule of thumb heuristics for configuring storage racks in automated storage and retrieval systems design. *International Journal of Production Research*, 39(3), 511–527. <https://doi.org/10.1080/0020754001004368>
- Manzini, R. (2012). *Warehousing in the global supply chain: Advanced models, tools and applications for storage systems*. Springer Science & Business Media.
- Mirabelli, G., Pizzuti, T., Macchione, C., & Laganà, D. (2015a). Warehouse layout optimization: A case study based on the adaptation of the multi-layer Allocation problem. *Proceedings of the Summer School Francesco Turco, Industrial Systems Engineering*, 49–58.
- Mirabelli, G., Pizzuti, T., Macchione, C., & Laganà, D. (2015b). Warehouse layout optimization: A case study based on the adaptation of the multi-layer Allocation problem. *Proceedings of the Summer School Francesco Turco, Industrial Systems Engineering*, 49–58.
- Mora, L. A. (2010). Gestión Logística Integral. In *Ecoe Ediciones* (Vol. 1).
- Mulcahy, D. E. (1994). *Warehouse distribution and operations handbook*. McGraw-Hill Professional.

- Petersen, C. G., Aase, G. R., & Heiser, D. R. (2004). Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(7), 534–544. <https://doi.org/10.1108/09600030410552230>
- Renaud, J., & Ruiz, A. (2008). Improving product location and order picking activities in a distribution centre. *Journal of the Operational Research Society*, 59(12), 1603–1613. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602514>
- Richards, G. (2011). Warehouse Management A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse. In *Warehouse Management*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-35220-4>
- Richards, G. (2018). *Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse* (3rd ed.). Kogan Page.
- Roodbergen, K. J., & De Koster, R. (2001). Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research*, 39(9), 1865–1883. <https://doi.org/10.1080/00207540110028128>
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2017). *The handbook of logistics and distribution management* (6th ed.). Kogan Page.
- Shetty, N., Sah, B., & Chung, S. H. (2020). Route optimization for warehouse order picking operations via vehicle routing and simulation. *SN Applied Sciences*, 2(2). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2076-x>
- Taylor, P., Heragu, S. S., Du, L., Mantel, R. J., & Schuur, P. C. (n.d.). *International Journal of Production Mathematical model for warehouse design and product allocation*. March 2013, 37–41. <https://doi.org/10.1080/00207540412331285841>
- Ten Hompel, M., & Schmidt, T. (2007). Warehouse Management. In *Warehouse Management*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-35220-4>
- Venkitasubramony, R., & Adil, G. K. (2016). Design of an order-picking warehouse factoring vertical travel and space sharing. *International Journal of Advanced*

Manufacturing Technology, 91(5–8), 1921–1934. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9879-3>

Waters, D. (2003). Logistics: An introduction to supply chain management. In *Logistics: An Introduction to Supply Chain Management*. PALGRAVE MACMILLAN.

Yoon, C. S., & Sharp, G. P. (1996). A structured procedure for analysis and design of order pick systems. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 28(5), 379–389. <https://doi.org/10.1080/07408179608966285>

Anexos

Anexo 1. Modelado en GAMS

```
Set
i producto
j lugar;
Parameters
frecuencia(i) frecuencia de acceso
productoubicacion(i,j) costo esperado de viaje de ida a la ubicación j
inventario(i) inventario de i necesario almacenar
frente(i) espacio requerido del producto i
estante(i) estantes maximos para cada producto
$onecho > tas.txt
dset=i rng=INV!A2 Rdim=1
dset=j rng=LOCAL!A2 Rdim=1

par=frecuencia rng=INV!A2 rdim=1
par=productoubicacion rng=UBI!A1 rdim=1 cdim=1
par=inventario rng=INV!E2 rdim=1
par=frente rng=INV!C2 rdim=1
par=estante rng=INV!G2 rdim=1
$offecho

$CALL GDXRW lugardealmacenamientoB.xlsx trace=3 @tas.txt
$GDXIN lugardealmacenamientoB.gdx
$LOAD i,j
$LOAD frecuencia,productoubicacion,inventario,frente
$GDXIN

variable
x(i,j) 'el producto i es almacenado en el lugar j'
z 'costo total';

integer variable x(i,j);

equation
costototal 'define función objetivo'
frentene 'espacio necesario para almacenar el inventario necesario para cada producto'
capacidad(j) 'define la capacidad máxima por lugar de almacenamiento';

costototal.. z =e= (sum((i,j), productoubicacion(i,j)*x(i,j)*frecuencia(i)*frente(i)));
frentene(i).. sum((j),x(i,j)*frente(i)) =g= inventario(i);
capacidad(j).. sum((i), x(i,j)*frente(i)) =l= 1.2;

Model AsignaciondelugaresB / all /;

solve asignaciondelugaresB using mip minimizing z;

display x.l, x.m;
```

Anexo 2. Resultados asignación de lugares

Producto	Ubicación	Producto	Ubicación	Producto	Ubicación
N1	3A4	N9	4C3	N23	1B4
N1	4A1	N9	9C3	N24	8B3
N1	1C2	N9	2D1	N24	5C2
N1	1C3	N9	3D1	N25	6A1
N1	2C3	N9	3D2	N25	2B4
N1	1D2	N9	3D4	N25	6D3
N1	1D3	N9	4D2	N25	2E1
N1	1D4	N9	4D3	N25	1F2
N1	2D3	N9	1E2	N26	1A1
N1	2D4	N9	1E3	N26	5C4
N1	5D4	N10	3B1	N26	5D4
N2	5A1	N10	6C4	N26	1F1
N2	5A2	N10	4E2	N27	8A2
N2	1C1	N11	1B1	N28	1A4
N2	1C4	N11	4D1	N28	7C4
N2	1D1	N11	8D3	N29	1A3
N2	1D4	N11	1E1	N29	8A1
N2	2D2	N11	2E3	N29	2B4
N3	5A1	N12	4A2	N29	5C2
N3	5A2	N12	2B3	N29	5D2
N3	2B3	N12	4D2	N29	2E2
N3	1C4	N12	1E2	N30	8F1
N3	1D1	N12	4E1	N31	2A2
N4	3A1	N13	5A3	N31	3B1
N4	5A4	N13	7A1	N31	8F1
N4	2C1	N13	7A2	N32	8A4
N4	2C2	N13	7A4	N32	7C2
N4	3C3	N13	8A1	N33	9C3
N4	1D4	N13	1B3	N33	1F4
N4	2D1	N13	6B1	N34	2A4
N4	3D3	N13	7B1	N34	2F4
N4	7D3	N13	1C4	N34	3F3
N4	3E1	N13	2C1	N35	8B4
N5	6A3	N13	2C4	N35	2E1
N5	2C4	N13	1D1	N36	8A4
N5	3C2	N13	2D1	N36	6C3
N5	2D4	N13	2D4	N36	9C4
N5	3D2	N13	1E3	N37	3A1
N6	4A1	N14	9C3	N37	1C2

N6	4A2	N14	4D4	N38	9A1
N6	6A3	N15	8A1	N38	1F1
N6	7A1	N15	1B1	N39	9F1
N6	1B1	N15	2B3	N40	3B4
N6	1B4	N15	4C1	N40	6D4
N6	2B2	N15	5C3	N41	8B1
N6	3B3	N15	3D3	N42	2A3
N6	1C3	N15	4D1	N42	5A4
N6	4C1	N15	1E1	N42	3B2
N6	4C4	N15	1E4	N42	8B2
N6	5C3	N15	2E2	N42	3E2
N6	4D1	N15	2E3	N42	4E2
N6	5D3	N15	4E4	N42	1F4
N6	1E1	N16	1C3	N43	5C1
N6	1E4	N16	2C3	N43	10C2
N6	2E4	N16	1D2	N43	5D1
N6	1F3	N16	1D3	N44	8A3
N7	7A1	N16	2D3	N44	9B2
N7	1B2	N16	6D3	N44	3C1
N7	3C4	N17	3A4	N44	4C2
N7	4C2	N17	8C1	N44	4C3
N7	4C3	N17	8D2	N44	4D3
N7	3D1	N17	3F2	N44	8D4
N7	3D4	N17	3F4	N45	4B1
N7	4D2	N18	8B2	N45	4B4
N7	4D3	N18	3E3	N45	5B3
N8	7A3	N19	1A4	N45	1D1
N8	4B3	N19	4E4	N45	8F4
N8	7D3	N19	1F4	N46	6C4
N8	3E1	N20	8D2	N46	8F4
N8	4E3	N20	9D2	N47	1A1
N9	1B2	N20	4F3	N47	9B1
N9	1B3	N21	1A3	N47	6D2
N9	4B1	N21	5D2	N48	8D4
N9	3C1	N21	2E1	N48	2F1
N9	3C2	N22	7A3	N48	3F1
N9	3C4	N22	5D1	N49	9A4
N9	4C2	N23	8A2	N50	9F4
N51	9D2	N84	5C3	N130	5B1
N51	2F4	N85	10C4	N131	4A2
N52	5B3	N86	5E3	N132	6B1
N53	5B4	N86	4F4	N133	5A3

N53	5C4	N87	1B3	N133	1E2
N53	2E4	N88	5B2	N134	9C4
N53	5E2	N88	7C4	N134	9D3
N53	8F4	N88	11C1	N135	2D4
N54	1A2	N88	7D4	N136	10D2
N54	2B1	N88	2E2	N136	4F1
N54	7B4	N88	9F4	N137	4C4
N54	6D3	N89	1A2	N138	7A4
N54	1F2	N89	3B3	N138	4E4
N54	3F4	N89	10C4	N139	8D4
N54	8F4	N89	3E3	N139	6E3
N54	9F4	N90	10A1	N140	11B3
N55	9F4	N90	6D4	N141	8C2
N56	3A1	N91	3A3	N142	6B2
N57	7C3	N91	10B3	N143	9B1
N57	9C1	N92	7B3	N143	8C4
N57	3E1	N92	10B4	N144	6B2
N58	9B1	N92	10D3	N144	5C4
N58	5D4	N92	14D3	N145	4A4
N59	4B2	N93	5B2	N146	2B2
N59	9B1	N94	6D1	N147	9A3
N60	6B1	N94	5F2	N148	7C3
N60	6E3	N95	8B3	N149	9A2
N61	8B1	N96	11A2	N150	1B4
N61	8D2	N97	9D4	N151	9A2
N62	6B4	N98	5A1	N152	11B3
N62	5E1	N99	10A3	N153	6B4
N62	11E4	N100	8D3	N154	5E1
N63	5E4	N101	10B4	N155	3C3
N63	8F4	N102	4F3	N156	4A3
N64	11E3	N103	8A2	N156	11C2
N64	3F3	N104	2A1	N156	5E2
N65	9D2	N104	14D3	N156	1E2
N66	3B2	N105	4E3	N156	4F3
N66	2F3	N106	11E3	N157	2D2
N66	5F3	N107	2A2	N158	11C3
N67	3B4	N107	4C1	N159	5E4
N67	5E4	N107	2F2	N159	3F1
N68	6A3	N108	5A3	N160	11B3
N68	3E4	N109	8C2	N161	5B1
N69	6C4	N109	9D1	N162	8C2
N69	3E3	N110	6F3	N163	14D2

N70	7E3	N111	10D3	N164	10D2
N71	3A2	N111	3F2	N165	6D2
N72	5A2	N112	7C2	N166	7B4
N73	10A1	N112	6E3	N167	4A1
N74	2A1	N113	4B4	N167	10D2
N74	3A3	N113	9D4	N168	9B4
N74	7A4	N114	5B2	N168	8C4
N74	4E2	N114	3F1	N169	12E3
N75	10B1	N115	3D3	N170	6B3
N75	4E1	N116	9A1	N170	7D2
N75	5E1	N116	14D3	N170	5F1
N76	10B3	N117	7C3	N171	1E2
N76	7D2	N117	6E4	N172	7B3
N76	3F3	N117	2F2	N173	7B1
N77	7E3	N118	6A1	N174	6B3
N78	8A3	N119	6B2	N175	5E4
N78	1F2	N119	10C1	N175	5F4
N79	2D2	N119	5F3	N176	3E2
N79	1F1	N120	9A2	N177	5E2
N80	8D3	N121	12E3	N178	3A2
N80	8D4	N122	2B4	N179	8B1
N81	10B2	N123	14D3	N180	10A1
N81	6C2	N124	2A4	N181	7B3
N81	6D2	N124	4B4	N181	8C4
N82	3A2	N125	4F2	N182	5B4
N82	7D3	N126	11C1	N182	8B1
N83	10B1	N126	6D1	N183	5F4
N83	7C1	N127	6A2	N184	11C4
N83	7D1	N128	3B1	N185	2D4
N84	3A2	N129	6E3	N186	9D3
N187	7B2	N252	7D3	N316	9B4
N188	10A2	N253	5B4	N317	4F1
N189	10C1	N254	6C1	N318	4F1
N189	12C1	N254	4F2	N319	7C2
N190	7C2	N255	12C1	N320	9B4
N191	2C3	N256	11A1	N321	9F2
N192	6C2	N257	3F2	N322	9B4
N192	10D2	N258	9D1	N323	7F3
N193	2B1	N259	11C2	N324	9A1
N194	7C3	N260	9D3	N325	11C4
N195	5D4	N261	8C1	N326	4F4
N196	7B1	N261	9C1	N327	9D4

N196	6C1	N261	10D3	N328	9F2
N197	8C1	N261	5F3	N329	3C3
N197	10D1	N262	7E4	N330	9A2
N198	4A3	N263	9C1	N331	9B4
N199	2F2	N264	9A3	N332	4A2
N200	1A3	N265	5A2	N332	1B2
N201	8B1	N266	1E2	N333	4C3
N202	7D3	N267	4E3	N334	6D2
N203	12E3	N268	5E1	N335	9A4
N204	12C1	N269	6E2	N336	10B2
N205	8D1	N269	9F2	N337	9D4
N206	8C4	N270	11C3	N338	4E4
N207	1C4	N271	12C2	N339	7B2
N208	10D1	N272	4B4	N340	12C3
N209	5F4	N272	3E1	N341	6F2
N210	4D3	N273	6B3	N342	7E2
N211	7A2	N274	1E2	N343	5F1
N212	10D3	N275	10B2	N344	10B1
N213	11D3	N276	7E1	N345	10A2
N214	7A2	N277	5D2	N346	10D1
N215	8B2	N278	6E2	N347	9C3
N216	6E2	N279	5B4	N348	5E1
N217	12E3	N280	9A4	N349	4C1
N218	2A1	N281	8B1	N350	7E2
N218	2A3	N282	4D4	N350	4F4
N219	6B1	N283	7D1	N351	8E3
N219	9D1	N284	3F4	N352	10B2
N220	8A1	N285	1E4	N353	1B1
N221	9C2	N286	1A1	N354	6F2
N222	6A4	N286	3A3	N355	3B2
N223	1E2	N287	4C3	N356	6E3
N224	2F4	N288	7E4	N357	11C4
N225	8C4	N289	4E4	N358	12C3
N226	1B3	N290	6B4	N359	2F1
N227	11C2	N290	6D2	N360	1A4
N228	9C4	N291	9C2	N361	9A2
N229	10A3	N291	10D4	N362	4A4
N230	6D4	N291	4F1	N362	7E1
N231	7D4	N292	7D1	N363	3B3
N232	1D2	N293	8C3	N364	4A4
N233	11B1	N294	3F1	N364	1C3
N234	10C3	N295	3A2	N365	3D1

N235	3E4	N296	11C3	N366	5A2
N236	6C3	N297	8A3	N366	1B3
N237	2D1	N298	9F1	N367	6E3
N238	7C3	N299	8B4	N368	6D2
N239	2B4	N300	6E4	N369	8A2
N239	2C3	N301	1C1	N369	4E1
N240	8D3	N302	8B4	N370	5F2
N241	3A1	N303	9F2	N371	10D1
N241	11B1	N304	3A4	N372	11B1
N242	4F1	N304	6C4	N373	10C1
N243	3E4	N305	2B1	N374	7C1
N244	11C3	N306	10D4	N374	5F3
N245	9C2	N307	8E2	N375	6B2
N246	5B2	N308	3B3	N376	10A1
N247	9D1	N309	5A4	N377	5C1
N247	3E1	N309	2F1	N378	6C4
N247	6F3	N310	8D1	N379	5A4
N248	5A3	N311	8A4	N379	11C3
N249	5A3	N312	8A4	N380	10B2
N250	3F1	N313	5D1	N381	7F3
N251	11E1	N314	9B4	N382	7A4
N252	4B1	N315	6C2	N383	7D1
N384	10C2	N449	5F2	N511	12C4
N384	4E1	N450	1B3	N512	11D1
N385	9A2	N450	7C4	N513	11E1
N386	9A2	N451	6E1	N514	4F2
N387	7B4	N452	7E4	N515	12C4
N387	5E4	N453	6A2	N516	4F4
N388	7E4	N454	9A2	N517	5E1
N389	6C1	N455	2A2	N517	5F3
N390	9F2	N455	1D3	N518	12C4
N391	3F2	N456	6D4	N519	5E4
N392	10A2	N457	9A2	N519	7E2
N393	8A4	N457	10C1	N520	11D1
N393	9C3	N458	13D1	N521	5C4
N394	9F2	N458	1F1	N522	10A2
N395	3B3	N459	11D1	N523	10A2
N395	2F1	N460	11B3	N524	3C3
N396	11C1	N461	5F2	N524	4C1
N397	11D2	N462	11C1	N525	11D1
N398	8C3	N463	7C1	N526	10A2
N399	4A3	N463	3F1	N526	9C4

N399	6E1	N464	5B4	N527	8D4
N400	4C1	N465	8E1	N528	4F4
N401	11A1	N465	5F1	N529	7F2
N401	7B2	N466	10A1	N530	10A2
N402	12C2	N467	4B2	N531	6B2
N403	5C2	N468	11B1	N532	13C1
N404	11D3	N469	5E1	N533	11D1
N405	10B4	N470	8E3	N534	6F3
N406	8A3	N471	5A4	N535	3A1
N406	2B2	N471	6D4	N536	6B4
N407	9A4	N472	12D3	N537	11B2
N408	12C3	N473	7B3	N538	11B2
N409	3E1	N473	12C1	N538	13C1
N410	9F2	N474	1A1	N538	13C2
N411	7F3	N475	10E4	N538	13C4
N412	6F1	N476	11D2	N538	10E4
N413	9D4	N477	12C1	N539	9B3
N414	12D3	N478	7E3	N540	11D2
N415	12D3	N479	13D1	N542	8B3
N416	9B4	N479	5F4	N543	5F3
N417	11D2	N480	9D3	N544	5C4
N418	1D2	N481	6F1	N544	1D2
N419	6F3	N482	7F2	N545	13C3
N420	2B4	N483	11E1	N546	11D1
N420	3B3	N484	6F1	N547	5A4
N421	7D3	N485	7F2	N547	5F4
N422	12C2	N486	10E4	N548	11D4
N423	10C4	N487	5B1	N549	10A2
N424	9C2	N487	8D3	N550	10A1
N425	8A2	N488	9C4	N551	10A1
N425	4B3	N488	10E4	N552	7F2
N426	7E1	N489	5B3	N553	7B1
N427	12D3	N489	6B2	N554	11B2
N428	7E3	N490	7B1	N555	7B3
N429	9D4	N491	2D2	N555	2D2
N430	3E4	N492	3B1	N556	8C2
N431	12D3	N493	10E4	N556	9C3
N432	5F3	N494	5A4	N557	5D3
N433	9F2	N494	5B1	N558	8E4
N434	9B4	N495	7E4	N559	6E3
N435	2E3	N496	2E2	N559	10E4
N436	2A2	N497	10E4	N560	10D4

N437	5E4	N498	8B4	N561	8E4
N437	9F2	N499	6C4	N562	8E4
N438	9B4	N500	7F2	N563	10E4
N439	13D1	N501	10D4	N563	6F2
N440	12E3	N502	7A4	N564	7C1
N441	5D1	N503	10E4	N565	8D2
N442	11E1	N504	12C2	N566	14C3
N443	13C1	N505	11B2	N567	13D4
N444	5B1	N506	1C2	N568	13D4
N444	2C2	N506	12C2	N569	6D2
N445	7D1	N507	6B4	N570	6B1
N446	12C4	N508	11B2	N571	11E1
N447	10A4	N509	5F2	N572	13D4
N448	8E1	N510	11C4	N573	10D1
N574	8D1	N635	7B3	N701	8D4
N574	4E4	N635	12D2	N702	10F2
N575	11D4	N636	3E4	N703	7B1
N576	2D3	N637	8E2	N703	2E1
N576	6D4	N638	4F2	N704	7B1
N577	2F1	N639	9C4	N704	8C4
N578	13D4	N640	9A1	N705	13C2
N579	8C1	N641	8F3	N706	12D2
N580	11D4	N642	9E2	N707	12D2
N581	10B3	N643	9A3	N708	9E3
N582	10A4	N644	6E4	N709	10F2
N583	7E3	N644	5F4	N710	4A1
N584	13D4	N645	5A3	N711	5E3
N585	11D4	N645	11D2	N712	9E3
N586	2D3	N646	12C2	N713	7B4
N587	8E3	N647	5F1	N714	10B2
N588	9A1	N648	9A4	N715	11C2
N589	12D1	N649	10A4	N715	8E1
N590	4F2	N650	5A4	N716	7B4
N591	9A1	N650	5D4	N717	5F2
N592	11E1	N651	8F3	N718	4E3
N593	13C4	N652	10A4	N719	12D2
N593	6F4	N653	1F3	N720	3C1
N593	10F2	N653	8F2	N720	6F4
N594	11E1	N654	10C3	N721	8E2
N595	5A4	N655	10A4	N722	8C3
N595	1B2	N655	12D2	N723	5B3
N596	7B4	N656	13D4	N724	13C3

N597	5B1	N657	5D4	N725	6A4
N597	6C1	N658	6F2	N725	3F4
N598	6E2	N659	7D3	N726	1A4
N598	5F4	N660	8E1	N727	7B4
N599	11E1	N661	11B2	N727	6F4
N600	3D1	N662	12D2	N728	12D2
N601	9E2	N663	12C4	N729	12D2
N602	4E4	N663	7F3	N731	11E2
N602	7E4	N664	11B2	N732	9B3
N603	11D1	N664	6F4	N732	10B1
N604	1A4	N665	7C1	N733	8D3
N605	8C2	N665	4D4	N734	11E2
N606	11D2	N666	10F2	N735	5D3
N607	13D4	N667	1E3	N736	11E2
N608	8E4	N668	11C3	N737	6F1
N609	5A4	N669	12C4	N737	10F2
N609	4B3	N670	6B1	N738	7B3
N610	9A1	N671	6B3	N739	8C3
N611	11D4	N672	1E3	N740	10C2
N612	9B3	N673	6A4	N741	12D2
N612	8E1	N674	6E1	N742	1A4
N613	8C4	N675	4A2	N742	9E3
N613	14C3	N676	6D1	N743	10F2
N614	7A3	N677	9C4	N744	13C3
N614	1F3	N677	6F1	N744	6F4
N615	4A1	N678	10F2	N745	11D2
N616	11B3	N679	9B2	N745	4F4
N617	8D4	N680	10D2	N746	12D2
N618	13D4	N681	8B2	N747	10B4
N619	12C1	N681	13C3	N748	12D1
N620	6D2	N682	5A1	N749	6F2
N621	8E1	N683	9C2	N750	7B1
N622	2A4	N684	13C2	N750	2E4
N622	6E4	N685	8C3	N751	6E4
N623	9C4	N686	2A2	N751	9E3
N623	12D1	N688	6F4	N752	12D1
N624	12D1	N689	11A3	N753	4F4
N625	5E3	N690	11E1	N754	7F1
N626	7E1	N691	5F1	N755	11E2
N627	8C4	N692	11C1	N756	7E3
N628	7D1	N693	11E2	N757	6B4
N629	8F3	N694	11E2	N758	8A1

N630	10B1	N695	11A3	N759	14C3
N631	6D4	N696	6C1	N760	8C3
N631	5F2	N696	9E3	N761	4F2
N632	3B2	N697	9E2	N762	8E2
N632	4E4	N698	10F2	N762	3F2
N633	1C4	N699	9C4	N763	1A4
N634	13C2	N700	8D1	N763	1F4
N764	7F1	N829	6F4	N896	6A2
N765	9D2	N830	9B3	N897	10F3
N766	7A4	N831	12D1	N898	7A4
N767	7A4	N832	5A1	N899	11B4
N768	6A3	N833	8E3	N900	9D1
N769	10D2	N834	6C1	N901	13D3
N770	11E2	N835	1E4	N902	9D2
N771	6A2	N836	10F3	N902	4E4
N771	6A4	N837	13C2	N903	13D3
N773	9D1	N838	11C4	N904	6A1
N774	10C2	N840	9A1	N904	4F1
N775	10B3	N841	11A1	N905	14C2
N776	6B3	N842	4F2	N906	7C2
N777	9B3	N843	12D1	N907	11C3
N777	11D2	N844	11D3	N908	11C1
N778	3F1	N845	12D1	N909	9B3
N779	8C3	N846	9A1	N910	14C2
N780	8E2	N847	6A4	N912	11C1
N780	7F1	N847	10E3	N913	10A3
N781	11E2	N848	10E3	N914	10A2
N782	6A4	N849	11B4	N915	13D3
N782	13D4	N850	10B4	N916	7A3
N783	12D3	N851	3F4	N916	8E2
N783	6F4	N852	7A3	N917	12C3
N784	7F1	N853	8E4	N918	11D2
N785	10F3	N854	10E3	N918	3E2
N786	11D2	N855	6C1	N919	6E4
N786	6F2	N855	8E1	N920	14C1
N787	7F1	N856	9A3	N921	9E1
N788	7F4	N857	5B1	N922	5B4
N789	3E2	N858	10D4	N922	11C2
N790	7F4	N859	12D1	N923	13C2
N791	3F4	N860	10C3	N924	10B3
N792	4C2	N861	9B3	N925	7F1
N793	5D3	N861	12D4	N926	10A2

N794	7F4	N862	12D4	N927	6A2
N795	2E4	N863	8B3	N927	6D4
N796	3E1	N864	10E3	N928	7B4
N796	1F2	N865	7B2	N928	4F4
N797	11C3	N866	10B3	N929	10C1
N797	4F3	N866	8D3	N929	10D4
N798	2F3	N867	8A4	N930	8B2
N799	9B1	N868	11D3	N930	6D4
N800	2C3	N869	10A3	N931	1C2
N800	6F1	N869	11D2	N932	14C1
N801	11D2	N870	4A4	N933	13C3
N801	6F1	N871	10C1	N934	14C1
N802	7F2	N871	5E1	N934	11D2
N803	2F3	N872	10F3	N935	7B1
N804	9B1	N873	11A3	N936	6F1
N805	11B4	N874	4B2	N937	6E4
N806	8F3	N875	3F1	N937	3F3
N807	11E2	N876	6C4	N938	6A3
N808	7F4	N877	10E3	N939	3A1
N809	10F3	N878	10A2	N940	6B4
N810	7A1	N878	9E3	N941	8B2
N811	5A1	N879	3F3	N941	8E4
N812	11A2	N880	11B4	N942	9E1
N813	2B2	N881	9D1	N943	9E1
N814	10F3	N881	4E1	N944	7B1
N815	7A4	N882	13D3	N944	9B4
N815	7D4	N883	13D3	N945	3F2
N816	9A4	N884	5E4	N946	10B2
N817	6D1	N884	8E2	N947	6E2
N818	7F4	N885	11C4	N948	13C3
N819	7F4	N886	10F3	N949	9E1
N820	10E3	N887	13C1	N950	6D1
N821	7B1	N888	11B4	N951	2C2
N821	2F2	N889	12D4	N952	6E1
N822	12D3	N890	8D2	N953	7B1
N823	10E3	N891	6E1	N953	10D3
N824	10A3	N891	9E3	N954	11D3
N825	10E3	N892	6A1	N955	14C2
N826	6F1	N892	10E3	N956	6B2
N827	9A4	N893	8B4	N957	1F1
N828	11B4	N894	13D3	N958	11C4
N829	4D3	N895	9E3	N959	7E1

N959	11E2	N1025	8F2	N1087	11D4
N960	10C3	N1026	2B2	N1087	9E3
N961	9A4	N1026	8B2	N1088	10C3
N962	8E2	N1027	1D4	N1089	9C2
N963	11B2	N1028	12B3	N1090	7A2
N964	6F4	N1029	11C2	N1091	14D2
N965	9E1	N1029	1E1	N1092	12B3
N966	6A4	N1030	9A3	N1093	2A2
N966	10B3	N1030	8B2	N1094	10D1
N967	6A1	N1031	2E1	N1094	7E4
N967	9A4	N1032	14C3	N1095	6F3
N968	6A1	N1033	1A2	N1096	9E2
N969	3E3	N1034	2E2	N1097	7F2
N970	8E3	N1035	9E4	N1098	7F4
N971	10A4	N1036	6F4	N1099	6A4
N972	14C1	N1037	9E4	N1099	3E3
N973	14C1	N1038	3A3	N1100	14C3
N974	14C1	N1039	3F3	N1101	7F1
N975	6E4	N1040	7D4	N1102	10C4
N976	11A1	N1040	6F2	N1103	8B2
N977	12C3	N1041	4C1	N1103	1F3
N978	9E1	N1042	14C2	N1104	3C1
N979	6A1	N1042	7F3	N1104	6F4
N979	2E4	N1043	8A2	N1105	12D4
N980	12C4	N1044	1D4	N1106	3A3
N981	5C1	N1045	9E4	N1107	14C3
N982	8F2	N1046	6D4	N1108	12D1
N983	1E4	N1046	11D3	N1109	2B1
N984	14C2	N1047	8F2	N1110	8C1
N985	12C1	N1048	9B2	N1111	6A2
N986	4A2	N1049	14C2	N1111	2B4
N987	11C2	N1050	9B3	N1112	2F1
N987	14C2	N1050	10C3	N1113	8C2
N988	7F3	N1051	6B2	N1114	12D4
N989	12C4	N1052	8A3	N1114	8E2
N990	2D4	N1052	7F3	N1115	1F3
N991	1E3	N1053	9A4	N1116	12D4
N992	14D1	N1054	1E3	N1117	9D3
N993	14D1	N1055	10B4	N1118	14D2
N994	6F3	N1056	14C2	N1119	9F3
N995	8E1	N1057	12D4	N1120	1E3
N996	8F2	N1058	6E1	N1121	7D3

N997	11C2	N1059	7E1	N1122	12B3
N997	13C2	N1059	9E1	N1123	5B4
N998	10D1	N1060	5B1	N1124	14D2
N999	8F2	N1061	5E1	N1125	13D1
N1000	7E3	N1062	5A3	N1126	10B1
N1001	4F2	N1063	14D1	N1127	6A1
N1002	7D1	N1064	2D3	N1128	13D3
N1003	11A2	N1065	12D3	N1129	14D2
N1004	5A4	N1065	9E3	N1130	11A1
N1005	3A2	N1066	7B1	N1131	13D3
N1006	1E2	N1066	11C4	N1132	11D1
N1007	5A2	N1067	9E4	N1133	10C4
N1007	11D3	N1068	4A4	N1134	6A2
N1008	8F2	N1069	13C3	N1134	6E1
N1009	6A2	N1070	9E4	N1135	11C2
N1009	6F2	N1071	9E4	N1135	9E4
N1010	4B3	N1072	5B1	N1136	6A2
N1011	9A3	N1073	2C2	N1136	2D1
N1012	1B3	N1074	6A1	N1137	11B3
N1012	10C4	N1074	12C4	N1139	10A2
N1013	9A3	N1075	14D2	N1140	8D1
N1014	7A2	N1076	7A3	N1141	6F3
N1015	9A3	N1076	6D3	N1142	4E1
N1016	7E2	N1077	14D1	N1143	6C3
N1017	9A3	N1078	12D4	N1143	11D2
N1017	8B2	N1079	7A3	N1144	1F2
N1018	14C3	N1079	1C4	N1145	1C1
N1019	7E3	N1080	12C4	N1146	8B4
N1020	5A1	N1081	2B3	N1147	1E3
N1020	6F1	N1082	1D3	N1148	5E3
N1021	5B4	N1083	11A4	N1149	7D4
N1022	7D4	N1084	11C2	N1150	4B2
N1023	11A2	N1085	6D4	N1151	6A2
N1024	12D4	N1086	13C1	N1151	3E3
N1152	4B3	N1216	14D1	N1281	2F3
N1153	9B3	N1217	8B3	N1282	13C1
N1153	3F3	N1218	1F2	N1283	9F1
N1154	5C3	N1219	9F3	N1284	6A1
N1155	3A4	N1220	7A2	N1284	9F3
N1156	10A3	N1221	9F3	N1285	8A1
N1157	1E3	N1222	6A1	N1286	7F1
N1158	10A3	N1222	13D2	N1287	5B1

N1159	14D2	N1223	6A2	N1288	12B1
N1160	6F1	N1223	11D1	N1289	9E2
N1160	7F3	N1224	13D2	N1290	12B1
N1161	14C3	N1225	9F3	N1291	13D1
N1162	1E3	N1226	4B4	N1292	8D1
N1163	6A4	N1227	9E2	N1293	8F1
N1164	7A1	N1228	2E4	N1294	9B2
N1165	14D1	N1230	13D2	N1295	2A3
N1166	8A2	N1231	9F3	N1296	9F1
N1167	10A4	N1232	2B4	N1297	6C1
N1168	7B2	N1233	12B1	N1298	11E3
N1168	9E3	N1234	6A1	N1299	10C2
N1169	14D1	N1234	6B3	N1300	13D2
N1170	5D4	N1235	2C1	N1301	13D4
N1171	12B3	N1236	6A2	N1302	8E3
N1172	6E4	N1236	11D4	N1303	14C1
N1173	12B3	N1237	14D2	N1304	14C2
N1174	7A3	N1238	14D2	N1305	2A4
N1174	1E4	N1239	9F3	N1305	7F3
N1175	11A1	N1240	10B3	N1306	12B1
N1176	8E4	N1241	11D4	N1307	13D2
N1177	1E3	N1242	7C4	N1308	8A3
N1178	4A2	N1243	3A1	N1309	10C3
N1179	11A2	N1244	8A1	N1310	4A1
N1180	1B2	N1245	8B2	N1311	3C1
N1180	7E1	N1245	9D3	N1312	9F1
N1181	14D1	N1246	12C2	N1313	10C3
N1182	7E2	N1247	4A4	N1314	9B3
N1183	9A3	N1248	7B2	N1314	6D4
N1184	2E4	N1249	7B4	N1315	8F1
N1185	8A3	N1249	4D1	N1316	13C2
N1185	11D3	N1250	5E1	N1317	12D1
N1186	3B2	N1251	10B3	N1210	6C3
N1187	4C4	N1252	8C4	N1211	4A1
N1188	2C2	N1252	11C3	N1211	11C2
N1189	5F1	N1253	8E4	N1212	14D1
N1190	14D2	N1254	12B3	N1213	9E2
N1191	11A3	N1255	10D3	N1214	8D3
N1191	11C2	N1255	6F1	N1215	3B2
N1192	6F1	N1256	4D4	N1276	8E3
N1192	7F4	N1257	8D2	N1277	8B2
N1193	6A4	N1258	6A1	N1277	9B4

N1193	11B1	N1258	8A3	N1278	5E3
N1194	10E2	N1259	13D2	N1279	5C3
N1195	9F3	N1260	9F3	N1279	7E1
N1196	6A4	N1261	11A4	N1280	4C4
N1196	14D2	N1262	7E2		
N1197	9F3	N1263	13D1		
N1198	7E1	N1264	14D1		
N1199	6A2	N1265	8F1		
N1200	6A2	N1266	11C3		
N1200	8A4	N1266	10E3		
N1201	14D2	N1267	5C2		
N1202	9F3	N1268	9D2		
N1203	5B1	N1269	14D1		
N1204	1B4	N1270	11B3		
N1205	3A3	N1271	3B1		
N1206	12B3	N1272	10B2		
N1207	11D3	N1273	6C3		
N1208	9A3	N1274	4F1		
N1209	14D2	N1275	5B4		

Anexo 3. Comparación de distancias recorridas en el almacén actual y el propuesto.

Pedido	Números de parte	Propuesta	Actual	Ahorro
		Distancia recorrida (m)	Distancia recorrida (m)	Ahorro distancia
1	12	57.30	84.50	32%
2	29	118.90	178.20	33%
3	16	101.15	150.00	33%
4	20	93.43	119.40	22%
5	16	81.75	100.70	19%
6	25	231.00	286.70	19%
7	24	181.25	365.00	50%
8	13	56.95	66.20	14%
9	23	103.75	156.50	34%
10	25	82.50	138.10	40%
11	13	99.23	145.50	32%
12	25	349.60	403.00	13%
13	19	247.90	337.40	27%
14	26	187.70	291.50	36%
15	11	46.85	94.70	51%
16	24	104.55	162.50	36%
17	20	103.10	139.20	26%
18	15	97.85	182.30	46%
19	22	195.98	229.20	14%
20	12	78.00	85.10	8%
21	15	68.35	148.10	54%
22	22	106.10	112.60	6%
23	16	93.45	118.50	21%
24	18	72.15	109.50	34%
25	16	64.25	115.60	44%
26	27	130.60	185.10	29%
27	20	212.73	314.10	32%
28	24	227.95	377.20	40%
29	19	210.45	279.50	25%
30	13	41.45	70.60	41%
			Promedio de ahorro	30%

Anexo 4. Comparación de tiempo en el proceso de levantamiento de pedidos con el almacén actual y el propuesto.

Pedido	Números de parte	Propuesta	Actual	Ahorro
		Tiempo para completar el pedido (s)	Tiempo para completar el pedido (s)	Ahorro distancia
1	12	655	700	6%
2	29	1584	1902	17%
3	16	802	1097	27%
4	20	1026	1200	15%
5	16	1273	1388	8%
6	25	1400	2039	31%
7	24	1600	2672	40%
8	13	745	1349	45%
9	23	1514	2103	28%
10	25	1613	2601	38%
11	13	460	767	40%
12	25	1509	2470	39%
13	19	1232	2027	39%
14	26	1389	1836	24%
15	11	903	1125	20%
16	24	1559	1962	21%
17	20	1353	1683	20%
18	15	679	1160	41%
19	22	1700	2737	38%
20	12	600	966	38%
21	15	888	1266	30%
22	22	1750	2290	24%
23	16	826	1564	47%
24	18	1311	1961	33%
25	16	765	1190	36%
26	27	1403	2204	36%
27	20	1151	1988	42%
28	24	1407	2758	49%
29	19	1655	2034	19%
30	13	609	1150	47%
Promedio de ahorro				31%