

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS**

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE CON MENCIÓN
EN MODELOS DE OPTIMIZACIÓN”**

TEMA:

Aplicación de una heurística para la optimización del proceso de
preparación de pedidos en una bodega de una empresa
distribuidora de aguas y bebidas gaseosas

AUTOR:

ANA BELÉN RODRÍGUEZ ANDRADE

Guayaquil – Ecuador

2022

Resumen

En el presente trabajo de investigación se aborda la resolución del problema de optimización del picking y la definición de la ruta para la preparación de los pedidos de una empresa de bebidas gaseosas ubicada en la ciudad de Quito. El picking es uno de los procesos que representa altos costos logísticos para un almacén, por tanto, las organizaciones se preocupan cada vez más por optimizar dicho proceso. Para ello, dentro de este proyecto, se propuso la implementación de una heurística que proporcione la distancia mínima para el recorrido de picking. El desarrollo del algoritmo se concretó haciendo uso de una base de datos proporcionada por la empresa en función de las coordenadas de ubicación de los ítems y de las órdenes de pedidos o facturas. Los resultados obtenidos fueron proporcionados por una heurística implementada en el lenguaje de programación Wolfram Mathematica. Una vez implementada la solución se logró disminuir el 85% de la distancia recorrida al momento de realizar el picking.

Palabras claves: picking, heurística, optimizar, distancia.

Abstract

In the present research work, the resolution of the picking optimization problem and the definition of the route for the preparation of the orders of a soft drink company located in the city of Quito are addressed. Picking is one of the processes that represents high logistics costs for a warehouse, therefore, organizations are increasingly concerned with optimizing said process. For this, within this project, the implementation of a heuristic that provides the minimum distance for the picking route was proposed. The development of the algorithm was carried out using a database provided by the company based on the location coordinates of the items and the orders or invoices. The results obtained were provided by a heuristic implemented in the Wolfram Mathematica programming language. Once the solution was implemented, it was possible to reduce 85% the distance traveled of picking.

Keywords: picking, heuristics, optimize, distance, time.

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a las personas que colaboraron de alguna manera durante este proceso, de manera especial a mi esposo Paolo Cedeño por su incondicional apoyo y amor, a mi bebé David Alejandro que es el motor de mi vida, a mis queridos padres Fanny Andrade y Gonzalo Rodríguez por toda la confianza y cariño que siempre han depositado en mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los docentes que formaron parte de este programa de maestría, por su significativo aporte de conocimiento impartido, de manera especial al Ing. Víctor Vega por su apoyo y gran empatía.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este proyecto de titulación me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del trabajo de titulación referido.



Ana Rodríguez Andrade

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



PRESIDENTE



DIRECTOR



VOCAL 1



VOCAL 2

ABREVIATURAS

TL	Transporte logístico
Kg	Kilogramos
m	metros
SAP	Systeme Anwendungen und Produkte
FIFO	First In First Out
FEFO	First Expiry First Out
FILO	First In Last Out
SKU	Stock Keeping Unit
TSP	Travelling Salesman Problem
ERP	Enterprise Resource Planning

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS.....	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Descripción del problema	2
1.3 Justificación del problema	3
1.4 Objetivo general	4
1.5 Objetivos específicos.....	4
1.6 Estructura del proyecto.....	4
CAPÍTULO 2.....	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Revisión de la literatura	6
2.2 Cadena de Suministro	7
2.3 Centro de distribución.....	9
2.4 Almacén	9
2.4.1 Clasificación del almacén	10
2.4.2 Funciones del almacén.....	11
2.4.3 Diseño del almacén	13
2.4.4 Recursos dentro de un almacén.....	16
2.5 Gestión del almacén.....	17
2.5.1 Organización y control del inventario.....	18
2.5.2 Políticas de inventario.....	18
2.5.3 Sistemas de control de inventario.....	21
2.5.4 Estrategias de almacenamiento.....	24

2.5.5	Sistemas de almacenamiento.....	25
2.5.6	Métodos de almacenamiento.....	26
2.6	Preparación de pedidos.....	29
2.6.1	Principios de la preparación de pedidos	31
2.6.2	Metodologías empleadas para picking	32
2.6.3	Tecnologías empleadas para picking	33
2.6.4	Modelos de optimización para picking	34
CAPÍTULO 3.....		38
3. METODOLOGÍA.....		38
3.1	Generalidades de la bodega	38
3.2	Descripción general del proceso	41
3.2.1	Actividades y funciones designadas al personal de bodega.....	41
3.2.2	Análisis de la situación actual dentro de la bodega	44
3.3	Clasificación ABC de los ítems.....	45
3.4	Planteamiento del modelo matemático.....	45
3.5	Desarrollo de la heurística Pick & Sort	47
CAPÍTULO 4.....		48
4. RESULTADOS		48
4.1	Distancia del recorrido actual	48
4.2	Distancia del recorrido con heurística	54
4.3	Picking actual versus picking con heurística	60
CAPÍTULO 5.....		63
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		63
5.1	Conclusiones.....	63
5.2	Recomendaciones.....	64
BIBLIOGRAFÍA		65
ANEXOS.....		71
ANEXO A: CLASIFICACION ABC.....		71
ANEXO B: CODIFICACIÓN EN WOLFRAM MATHEMATICA		73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Flujo de una red logística en la cadena de suministro	8
Figura 2.2 Distribución en forma de U dentro de un almacén	16
Figura 2.3 Distribución en línea recta dentro de un almacén	16
Figura 2.4 Ley de Pareto.....	27
Figura 3.1 Administración general de la agencia Quito Norte	38
Figura 3.2 Vista frontal y dimensiones de un pallet de madera estándar.....	39
Figura 3.3 Vistas superior, inferior y lateral de un pallet de madera estándar .	40
Figura 3.4 Proceso en bodega	41
Figura 3.5 Personal de bodega	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Distancia del recorrido picking actual	49
Tabla 4.2 Distancia del recorrido Picking con heurística	54
Tabla 4.3 Distancia de picking con recorrido óptimo	60

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la actualidad, la gestión inteligente de la logística se ha convertido en uno de los principales pilares para el desarrollo de las actividades dentro de las diferentes organizaciones, mediante la cual a través del uso de herramientas se pueden planificar todas las funciones de una cadena de suministros. Independientemente del giro de negocio de la empresa o del tamaño de esta, todas las empresas hacen esfuerzos en la búsqueda de herramientas que contribuyan a mejorar la efectividad de sus procesos, donde el objetivo común es que, a través de la optimización de los recursos, se maximicen las utilidades.

Un proceso logístico bien planificado y organizado, repercute positivamente en las finanzas de la empresa. Tener los productos o servicios requeridos, en el lugar adecuado, en el momento exacto y con las condiciones necesarias, impactan directamente en la rentabilidad y además se podría convertir en un diferenciador ante los demás competidores del sector.

Para las compañías, ofrecer un servicio ágil y de calidad, es un requisito mínimo para su sostenibilidad y competitividad en el mercado. Esto hace que sea necesario tener una gestión adecuada para que los productos se encuentren disponibles en el momento que el cliente los necesite; aquí es donde la gestión de almacenes desempeña un papel importante para el cumplimiento de necesidades de los clientes, a través de la correcta planificación de las actividades que el proceso requiere.

La gestión de un almacén es uno de los eslabones de la logística, que engloba diferentes actividades como: recepción, almacenamiento, recolección, preparación y despacho de pedidos. El verdadero reto de este proceso consiste en encontrar las metodologías y políticas adecuadas de acuerdo con la realidad de cada empresa para que, a través de estas, se

pueda mejorar el rendimiento de las operaciones internas de los almacenes.

Como se había mencionado, la finalidad de todo proceso logístico es obtener la mayor ganancia económica para la empresa, y para esto es necesario que dicho proceso sea realizado de la manera más eficiente posible, es decir que se cumplan todas las actividades necesarias con el mínimo uso de recursos. Para alcanzar dicho objetivo, se requiere que existan procesos orientados a la optimización.

En este punto, es donde la optimización matemática cumple un rol principal, dado que se presenta como una técnica viable para la asignación óptima de recursos considerando todas las particularidades asociadas a las operaciones, con la finalidad de obtener el mayor beneficio posible.

1.2 Descripción del problema

La empresa objeto de estudio se dedica a la producción y distribución de bebidas, la misma que tiene una reconocida trayectoria en el mercado ecuatoriano y cuenta con un portafolio amplio de productos. Atiende dos grandes canales de distribución: Mercados Abiertos (tiendas de barrio) y Mercados Especiales (Supermercados).

Desde hace siete años que se fusionó con un holding pasó a convertirse en una multinacional, y desde entonces se han realizado inversiones en sistemas de administración de información como SAP, OSO, BI, software de optimización de rutas entre otros, con la finalidad de sistematizar procesos, reducir tiempos y mejorar el nivel de servicio en las diferentes áreas de la organización.

En el desarrollo de este proyecto se realizará el análisis en una parte de toda la cadena logística de esta empresa, enfocándose en la administración de una de sus bodegas ubicada en el Norte de Quito, desde donde se atiende el canal de mercado abierto.

Las bodegas de esta empresa tienen como responsabilidades: abastecimiento, almacenamiento, preparación y despacho de pedidos.

Para el desarrollo de estas actividades requieren recursos como: maquinarias (montacargas) y mano de obra para la gestión de actividades tanto administrativas como operativas.

A la fecha, el holding cuenta con un departamento centralizado denominado “Despacho Dinámico” para la optimización en el diseño de rutas para la distribución de productos, quienes, usando software de optimización de ruteo, son los encargados de agrupar eficientemente los pedidos en rutas de entrega asignadas a un camión. No obstante, en el desarrollo de procesos logísticos internos, se tiene como problemática la actividad previa a la carga de camiones, que es la preparación de pedidos o “picking”.

El proceso de picking presenta dos puntos que demandan principal atención: buscar la optimización del proceso para reducir el tiempo empleado en esta actividad y reducir la interacción hombre-máquina durante el desarrollo de este, para de este modo buscar ahorro en los costos operativos y mitigar posibles accidentes; por lo cual existe la necesidad de diseñar un proceso para una eficiente preparación de pedidos.

1.3 Justificación del problema

Pese a los destacados esfuerzos de la compañía en el diseño de procesos y políticas para la mejora de sus operaciones, se ha descuidado el enfoque en una de las actividades principales del proceso de gestión del almacén, que es la recolección y preparación de pedidos.

La recolección de productos dentro del área de picking es la actividad prioritaria del proceso de preparación de pedidos y también la actividad que más recursos demanda para su ejecución, capturando el mayor porcentaje del total disponible de mano de obra (11 Auxiliares de bodega y 1 Verificador de Carga), así como un importante espacio físico de la bodega.

El carecer de un procedimiento claro para el desarrollo de esta actividad, no sólo podría traernos subutilización de recursos; sino que, además trae

consigo riesgos asociados como la exposición del personal durante el uso de los montacargas.

Por lo antes mencionado, se busca desarrollar un proceso enfocado en la optimización del picking ya que es una manera viable de disminuir costos optimizando el uso de recursos dentro del almacén y disminuyendo riesgos de accidentes por la interacción hombre máquina.

1.4 Objetivo general

Diseñar una propuesta de picking mediante el desarrollo de una heurística para contribuir con la disminución del tiempo empleado en la preparación de pedidos.

1.5 Objetivos específicos

- Identificar los factores relevantes para el desempeño eficiente del proceso de preparación de pedidos en la bodega objeto de estudio.
- Establecer una heurística que optimice el proceso de preparación y recolección de pedidos en la bodega.
- Determinar el recorrido óptimo que permita disminuir el tiempo de preparación y recolección de pedidos.
- Validar la metodología propuesta por medio de una comparación con respecto a la situación del año 2019.

1.6 Estructura del proyecto

El presente trabajo de titulación se desarrollará en cinco capítulos, los mismos que se describirán a continuación:

El capítulo 1 presenta información introductoria relacionada al tema objeto de estudio, describiendo de manera general la importancia de la gestión de almacenes para la búsqueda de optimización de recursos. Durante este capítulo se plantea de manera clara cuál es el problema que se busca solucionar y por qué este debe ser solucionado, así como también el

objetivo general y los objetivos específicos que serán alcanzados durante el proyecto.

En el capítulo 2 se incluye una revisión del estado del arte, conceptos básicos, herramientas y literatura actual relacionada con el estudio de esta problemática, sirviendo de base para la solución del problema a lo largo del proyecto.

En el capítulo 3 se realiza un diagnóstico de la situación actual del proceso objeto de análisis con la finalidad de conocer las características específicas de la operación, así como la descripción de actividades, restricciones y recursos que conforman el proceso de preparación de pedidos, identificándose las oportunidades de mejora por resolver.

El capítulo 4 se centra en el diseño e implementación de la heurística propuesta para el desarrollo del proceso de preparación de pedidos; donde se expone la programación a emplearse para la obtención de la solución, detallando todos los parámetros. Durante este capítulo se realiza una comparación entre los resultados del proceso empleado actualmente versus los arrojados por la heurística.

En el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas del análisis de los resultados arrojados en la implementación de la heurística. Al final del documento se adjuntan las referencias bibliográficas y los anexos relacionados a este trabajo de titulación.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Revisión de la literatura

Varios estudios han determinado que la gestión de almacenes y definición del layout es la parte fundamental para un buen proceso de alistamiento de órdenes, dado que dependiendo de la configuración tanto de las ubicaciones, pasillos como las bahías para la entrega o despacho, facilitan o retrasan dicho proceso.

(Hsu, Chen, & Chen, 2005) propusieron un algoritmo genético que también considera de forma conjunta la definición de la ruta y la agrupación de pedidos, presentando un enfoque de agrupamiento basado en la asociación para la división en lotes teniendo en cuenta las demandas de los clientes.

(Arango, Zapata, & Pemberthy, 2010) en su artículo sobre la reestructuración del layout de una bodega industrial; demuestran los beneficios a través de la simulación, comparando el estado actual y la implementación de la propuesta elegida por la metodología de Bassan. Los resultados obtenidos de la simulación del proceso de picking de la bodega, muestran un ahorro en el área del almacén del 13% y además 12.3% del tiempo promedio empleado por los operarios para cumplir una orden.

(Estrada, Cardona, & Castro, 2011), quienes desarrollaron un trabajo de grado el cual consistía en la implementación del picking en una empresa de productos oftálmicos Compulens y Llanes Ltda., diagnosticaron el rendimiento actual del proceso de picking, donde encontraron que el problema principal resultaba ser los pedidos atrasado. Esto ocurría por los desplazamientos o recorridos que debían hacer, los cuales retrasaban el proceso productivo posterior. La causa raíz era una mala distribución de la bodega. Para lo cual propusieron una clasificación ABC, de la que se

obtuvo una mejor distribución y permitió generar una reducción en los recorridos.

(Peña & Forero, 2012), indican en su estudio que simulando pedidos se confirma si se puede realizar una mejor programación de distribución o transporte y establecer modelos de inventarios eficientes que permitan un uso más racional de ellos y ahorro en los costos.

(Elbert, 2016) evalúa la eficiencia de las políticas de ruteo de alistamiento de órdenes dentro de un almacén. Realizaron una investigación en diferentes compañías, de las cuales obtuvieron como resultado, que la dificultad de seguimiento de las rutas óptimas predefinidas causaba desviaciones en las rutas de recolección de órdenes en el proceso de alistamiento de una orden. Al final concluyeron en su artículo que entre más ítems tenga una orden, se incrementará la probabilidad de desviaciones en la ruta de recolección óptima aumentando el tiempo medio de recolección incluso más que en políticas de rutas de recolección heurísticas.

(Caviedes & González, 2016) sostienen que usando modelos matemáticos se logrará un aumento de la capacidad en la bodega, ubicar los productos dependiendo de la rotación para un rápido despacho.

2.2 Cadena de Suministro

El término cadena de suministro fue conceptualizado a principios de los años 80 como el conjunto de flujos de materiales e información dentro de una empresa que abarca desde la recepción de la materia prima suministrada por los proveedores hasta la entrega del producto o servicio al cliente final (García Anduiza, 2018).

La cadena de suministro pretende no solo integrar verticalmente cada uno de los eslabones que la conforman sino también asegurar la calidad en cuanto a la gestión de materiales y a la logística integrada para mejorar la relación de la empresa con sus proveedores y clientes (ver figura 2.1).

Figura 2.1 Flujo de una red logística en la cadena de suministro



Fuente: (McGraw Hill Education, 2017)

El objetivo de la cadena de suministro es sincronizar los procesos de aprovisionamiento, fabricación, distribución y devolución con el flujo de materiales e información de todos los involucrados (empresa, proveedor y cliente) para disminuir tiempos y costos mientras aumenta la flexibilidad, calidad, capacidad de respuesta y garantiza de forma eficiente el posicionamiento del producto o servicio en el mercado.

(García Anduiza, 2018) establece los siguientes procesos claves dentro de la cadena de suministro:

- **Planificación de la demanda:** consiste en balancear los recursos disponibles y no disponibles con los requerimientos determinados a lo largo de toda la cadena.
- **Compras:** se basa en el aprovisionamiento de materiales para el manejo de inventario mediante acuerdos con los proveedores.
- **Producción:** contempla todas las actividades relacionadas a la fabricación de productos (empaquetado, envasado, ensayos, entrega).
- **Distribución:** este proceso abarca la recepción y preparación de pedidos, el almacenamiento, facturación y transporte.
- **Devolución:** consiste en el retorno de los productos que no cumplen con las especificaciones requeridas por el cliente, en la actualidad, esta etapa de la cadena de suministro se conoce como logística inversa.

2.3 Centro de distribución

Según (Rodríguez Hernández, 2015) la idea de un centro de distribución surge luego de la segunda guerra mundial gracias a la percepción de un almacenamiento estratégico como base logística para centralizar y distribuir los recursos.

Un centro de distribución (CEDI) permite acondicionar los productos para satisfacer la demanda de los clientes con rapidez, exactitud y optimizando los costos que se generan. La función principal del CEDI es unir a los proveedores con los clientes mediante el desarrollo de actividades de planeación logística como el aprovisionamiento, producción, traslado, distribución, inventario, almacenamiento, manipulación de materiales y empaque.

Los centros de distribución son considerados como un tipo de almacén que se encarga de la consolidación, crossdocking y almacenamiento de productos terminados dentro de la cadena de suministro, esto permite añadir valor al servicio o producto ofertado para satisfacer a los clientes de manera eficiente (Vélez Calle, 2016).

2.4 Almacén

Un almacén hace referencia al espacio físico dentro de la cadena de suministro que es empleado para el almacenamiento del inventario. Esta infraestructura constituye un segmento indispensable de toda fábrica, industria, transporte y comercio (Cabrera, 2014).

Los objetivos principales de todo almacén corresponden a controlar y mantener en buen estado los productos que allí se designen, manipular correctamente la información de estos y asegurar la disponibilidad de los recursos para su correcta rotación.

(Pascual Montero, 2019) define el almacén como un lugar dedicado a receptor, almacenar, manipular, preparar y despachar productos con la finalidad de equilibrar la oferta y la demanda, disminuir costos, optimizar las operaciones y asegurar el mejor nivel de servicio al cliente.

Así, el almacén es considerado como una unidad de servicio cuyo objetivo consiste en proteger, controlar y abastecer de materiales y productos a una empresa y sus clientes finales. El éxito del buen manejo de un almacén permitirá obtener eficiencia en los procesos de recepción, control, consolidación y despacho de productos disminuyendo desperdicios y obsolescencia.

2.4.1 Clasificación del almacén

Según (Távora, 2014) un almacén se puede clasificar en función de la seguridad y control, de la organización de este y de los materiales que se acopien. Adicional, se encuentran los almacenes centrales, reguladores, transit point y cross-docking. A continuación, se detalla brevemente cada una de ellas.

Según la seguridad y control del almacén:

- Cerrado: lugar con acceso restringido y máximo control del inventario.
- Abierto: zona de almacenamiento sin restricciones de ingreso, los productos rotan rápidamente y se ubican cerca del lugar de su uso.
- Al azar: un almacén al azar es una combinación de los dos anteriores, con la diferencia de que no existe un lugar fijo para el almacenamiento de cada artículo. Este tipo de almacén funciona mejor con una adecuada aplicación informática.

Según la organización del almacén:

- Centralizado: cuando en un mismo lugar se reúnen todos los almacenes propios de una empresa.
- Descentralizado: a diferencia del primero, se considera un almacén descentralizado cuando hay varios sectores de este ubicados en distintos lugares.

Según el material que se almacene:

- Materia prima o componentes: este almacén se encarga de acopiar materia prima, partes o componentes, materiales auxiliares o piezas de recambio.

- Producto en proceso: artículos semielaborados que se almacenan bajo una determinada programación para la siguiente etapa de producción.
- Producto terminado: lugar donde se almacena el producto final disponible para la venta.
- Herramientas: almacén que acopia las partes y repuestos necesarios para el área de producción o mantenimiento.
- Devoluciones: aquí se almacenan aquellos productos que han sido devueltos por los clientes y se separan para reprocesos o destrucción.

Almacén central: lugar donde se acopian todos los materiales y productos de una empresa, este tipo de almacén proporciona un mayor y mejor control del inventario, del espacio y del aprovechamiento de los equipos de manipulación.

Almacén regulador: este tipo de almacén se ubica cerca de las fábricas de producción o en lugares geográficamente estratégicos.

Almacén transit point: situados en zonas estratégicas con un mínimo de stock de seguridad para atender requerimientos no planificados.

Almacén cross-docking: almacenes donde únicamente se realiza la recepción, validación y distribución física los productos, no se maneja inventario en este lugar.

2.4.2 Funciones del almacén

Para (Távora, 2014) entre las principales funciones de un almacén se encuentran:

- Mantener los ítems y materias primas protegidas contra incendios, robos y deterioros.
- Controlar e informar constantemente el nivel de inventario almacenado.
- Registrar el movimiento de las existencias para reportar el nivel de stock.

- Coordinar las actividades del almacén con las demás áreas de la cadena de suministros.
- Ejecutar los movimientos de recepción, almacenamiento y despacho en el menor tiempo posible y con un costo mínimo.

(Vélez Calle, 2016) establece cuatro funciones básicas e importantes que se desarrollan en un almacén, estas son:

- Recepción: consiste en recibir los productos que llegan al almacén, revisarlos y verificar la cantidad y calidad de estos. Un proceso de recepción se vuelve efectivo cuando se alcanza la mayor eficacia en las técnicas de descarga, supervisión y comprobación (Rojas, 2005).
- Almacenamiento: luego de recibir los productos en la zona de recepción estos son trasladados a la zona de almacenamiento donde se ubican de acuerdo con el sistema establecido dentro de la bodega para lograr una fácil y rápida identificación mientras se optimiza el espacio. Los métodos y procedimientos de almacenamiento varían en función de la cantidad y características de los ítems, del espacio disponible y de los equipos de manipulación usados (Rojas, 2005).
- Preparación de pedidos: esta operación consiste en recolectar los productos ubicados en la zona de almacenamiento para cumplir con las órdenes de pedidos solicitadas por los clientes. Para (Rojas, 2005) la preparación de pedidos contempla también la consolidación, empaquetado y etiquetado a fin de controlar y supervisar la función de despacho con mayor eficacia.
- Despacho: esta función empieza con la estiba de los paquetes hacia el muelle de carga para embarcarlos en el medio de transporte que distribuirá los pedidos a los clientes. Se debe hacer énfasis en la entrega oportuna, segura y eficaz de las órdenes solicitadas (Rojas, 2005).

De estas cuatro funciones, la preparación de pedidos es la que incurre en elevados costos operativos, llegando a representar aproximadamente un 65% de los costos totales del almacén de acuerdo con lo que establece (Vélez Calle, 2016). Este costo se estima a partir del valor del inventario, la inversión en seguros, el espacio utilizado, la amortización del lugar, los equipos de almacenamiento, la manipulación del inventario, la devaluación de los ítems, los salarios del personal y el mantenimiento de la instalación y los equipos.

2.4.3 Diseño del almacén

El diseño de un almacén se encuentra limitado por la superficie disponible para la asignación de espacios que según (Pascual Montero, 2019) se puede dividir en las siguientes zonas:

- Recepción.
- Almacenamiento.
- Preparación de pedidos.
- Despacho.

La distribución del almacén es lo que se conoce como layout o el diseño en planos del espacio físico que servirá para recibir, almacenar, preparar y despachar los pedidos solicitados. Es por ello, que la delimitación del almacén ha adquirido mayor importancia y se ha convertido en una decisión estratégica para lograr optimizar los procesos que allí se desarrollan.

(McGraw Hill Education, 2017) considera que dentro de un almacén existirán diferentes zonas dependiendo de las actividades que se desarrollen, siendo las más habituales:

Zona de recepción: espacio destinado para la descarga de los vehículos que transportan los materiales o productos y para recibir las devoluciones provenientes de los clientes. Esta zona requiere del equipamiento e infraestructura necesaria como muelles de descarga, rampas y cubiertas.

Zona de control de ingreso: luego de descargar los materiales o productos en la zona de recepción, estos son trasladados a otro espacio para validar que lo recibido físicamente coincida con lo descrito en la documentación respectiva, es decir, en esta zona se realiza el control cuantitativo y cualitativo de lo recibido.

Zona de empaquetado, envasado o reenvasado: esta zona se encuentra en aquellos almacenes que por el sistema de almacenamiento que manejan o por buenas prácticas de almacenamiento y distribución deben envasar, repaletizar, empaquetar o etiquetar nuevamente los productos para finalmente ser almacenados.

Zona de cuarentena: espacio destinado para el almacenamiento de productos que no cumplen con las especificaciones de calidad requeridas o que presentan alguna anomalía en cuanto a su composición y requieren ser evaluados previo a su traslado a la zona de almacenamiento para poder ser despachados.

Zona de almacenamiento: delimitación asignada para el almacenamiento de productos que se encuentran listos para despacho, en esta zona se realiza la manipulación de la mercadería y el picking

Zona de consolidación: una vez realizado el picking, los ítems son trasladados a la zona de consolidación para reunir los que pertenecen a un mismo pedido.

Zona de embalaje para la expedición: en esta zona se procede a embalar los pedidos consolidados para luego ser despachados a los clientes. El embalaje se puede realizar de forma manual o automatizada y requiere de envases, empaques y etiquetas.

Zona de verificación: lugar destinado para revisar y validar que la mercadería consolidada coincida con el requerimiento solicitado por el cliente, para ello, se realiza un control de calidad y cantidad previo a la salida del pedido.

Zona de estancia o espera: este sector se reserva en algunos almacenes para la permanencia temporal de los pedidos consolidados que por rapidez, lentitud o retrasos del transporte o de la preparación de pedidos deben esperar para ser cargados y trasladados al destino final.

Zona técnica: esta zona está designada para el almacenamiento de los equipos y materiales de manipulación, así como también para los elementos de embalaje.

Zona administrativa: espacio destinado para las oficinas donde se realizan las actividades administrativas del almacén.

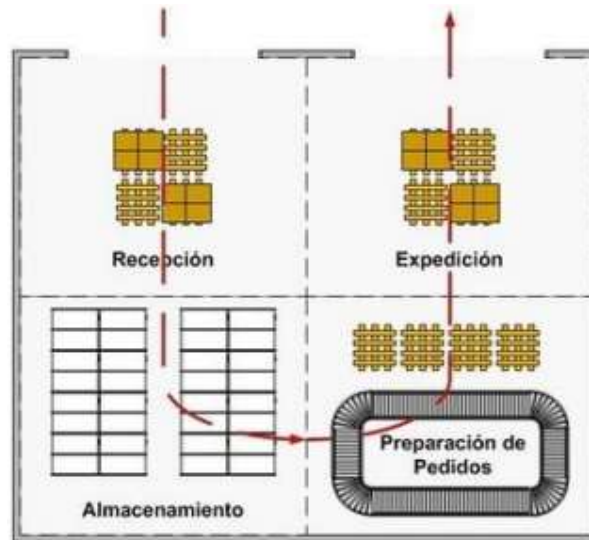
Zona de servicios: lugar asignado para satisfacer las necesidades de los colaboradores del almacén como baños, vestidores, comedor, sala de reuniones y de descanso.

El layout del almacén establece la división y distribución física para el flujo de materiales y productos dentro de una bodega, por tanto, se debe tener en consideración el tipo de producto o material que se almacenará, la unidad de carga que será manipulada y las estanterías o racks que serán usados para el almacenamiento. Cabe mencionar que el diseño del almacén varía en función del tipo de negocio de la compañía.

Un correcto layout permite identificar el modelo para la estructuración del flujo de materiales dentro de un almacén. (Freile & Gutierrez, 2015) destacan dos modelos claves para ello, a continuación, se detallan:

Modelo en forma de U: este modelo se centra en el ciclo de almacenamiento ofreciendo flexibilidad al momento de la carga y descarga de los productos o materiales, ya que en el diseño del almacén plantea de manera adyacente los muelles de recepción y despacho. Así, se puede aprovechar el espacio disponible, el uso de los equipos de manipulación y de la metodología ABC para el almacenamiento (ver figura 2.2).

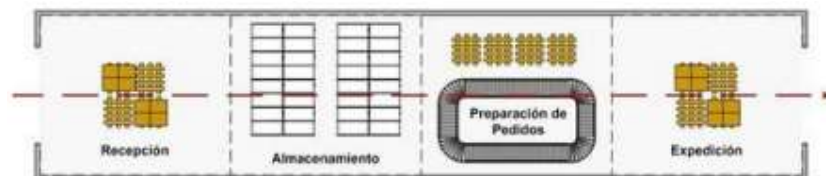
Figura 2.2 Distribución en forma de U dentro de un almacén



Fuente: (Freile & Gutierrez, 2015)

Modelo en línea recta: este tipo de modelo se recomienda cuando la recepción y el despacho se ejecutan al mismo tiempo y por tanto los muelles de carga y descarga deben ubicarse por separado. A diferencia del modelo anterior, la implementación de la metodología ABC en este diseño no tiene el mismo éxito, ya que se debe recorrer todo el almacén para la preparación de pedidos y por ello no se visualiza la optimización de recorridos (ver figura 2.3).

Figura 2.3 Distribución en línea recta dentro de un almacén



Fuente: (Freile & Gutierrez, 2015)

2.4.4 Recursos dentro de un almacén

Un almacén demanda tanto recursos humanos como financieros, es decir, activos fijos que deben ser empleados para la manipulación de los materiales y que requieren de un mantenimiento adecuado. Para (Vélez Calle, 2016) dentro de un almacén existen básicamente tres elementos claves para su buen funcionamiento, estos son:

- **Equipos de manipulación:** implementos que permiten minimizar los tiempos de manipulación y almacenamiento, pueden ser asistidos parcial o totalmente. Entre los más usados según (Vélez Calle, 2016) se encuentran:
 - Montacargas.
 - Equipos pórticos.
 - Carretillas.
 - Transpaletas.
 - Apiladoras.
 - Transelevador.
- **Infraestructura disponible:** corresponde a las instalaciones, sistemas y espacio físico del almacén que incurre en costos operativos y de mantenimiento.
- **Recurso Humano:** personal administrativo y operativo que ejecuta y coordina las actividades a desarrollarse dentro del almacén. Mientras mayor sea la cantidad de personas que desempeñan funciones en el almacén, mayor es el costo variable logístico.

2.5 Gestión del almacén

La correcta gestión de un almacén permite brindar el mejor nivel de servicio al cliente, aprovechar la capacidad de utilización de las instalaciones, mantener el nivel de stock necesario y optimizar los tiempos operativos; por tanto, se convierte en una de las actividades de mayor importancia para la empresa ya que el resultado de esta administración se valida directamente en los estados financieros de la compañía.

Una gestión óptima del almacén se logra mediante la coordinación de todos los procesos logísticos de la cadena de suministro, el equilibrio entre los niveles de inventario y del servicio al cliente, y, la capacidad de respuesta para adaptarse a nuevos cambios. Todos estos principios facilitarán la optimización de los recursos y capacidades dentro del almacén.

Para (Correa, Gómez, & Cano, 2010) una adecuada gestión del almacén busca alcanzar los siguientes objetivos:

- Minimizar el espacio utilizado; la inversión en infraestructura, instalaciones o recursos; los costos de mantenimiento de inventario y los riesgos a los que se encuentra expuesto tanto el personal como la bodega.
- Aumentar la rentabilidad, la operatividad del almacén y el cuidado de los materiales o productos almacenados.
- Disminuir las pérdidas causadas por robos, obsolescencia, faltantes y averías; la cantidad de manipulaciones de los equipos y productos, los tiempos de recorrido, los costos logísticos y las distancias recorridas.
- Reducir los costos logísticos a través de economías de escala, reducción de faltantes y retrasos en la preparación de despachos.
- Maximizar la disponibilidad de inventario para atender los requerimientos, la capacidad de almacenamiento y la rotación de los ítems.

2.5.1 Organización y control del inventario

(McGraw Hill Education, 2017) establece que la organización y el control del inventario depende de la cantidad de sku's a almacenar, del índice de rotación de estos, del nivel de automatización y de los sistemas de información dentro del almacén. Adicional, se debe considerar:

- La ubicación de los ítems y su localización para disminuir los costos de manipulación y preparación de pedidos.
- El espacio utilizado por los ítems para garantizar su seguridad y compatibilidad.
- El sistema de almacenamiento para la distribución del inventario dentro de la bodega.
- La trazabilidad de los ítems mediante el etiquetado y los sistemas de información.

2.5.2 Políticas de inventario

El objetivo de la existencia del inventario en una empresa es suministrar los materiales y artículos necesarios en el momento indicado; ya sea por

economía para ahorrar al momento de producir o comprar en volumen, o por seguridad para prevenir variaciones de la demanda y evitar los elevados costos que se generan por producto faltante.

(Castillo, 2006) determina que una problemática del inventario es mantener un nivel adecuado de este, que no sea tan alto porque genera un costo por mantener paralizado un capital, ni tan bajo porque ocasiona que la compañía trabaje sobre pedido para satisfacer de inmediato los requerimientos de los clientes. La empresa debe establecer el nivel adecuado de inventario que permita equilibrar estos dos escenarios.

Para ello, existen las políticas de inventario, aquellos procedimientos que abarcan un conjunto de decisiones con el propósito de coordinar en tiempo y espacio la demanda, el aprovisionamiento y la capacidad de almacenamiento de los ítems para cumplir con los objetivos del proceso logístico en términos de costo y nivel de servicio.

Una política de inventario debe responder dos preguntas claves, ¿cuánto ordenar? y ¿cuándo ordenar?, la primera interrogante determina el tamaño del lote económico a través de la minimización del costo, la segunda está relacionada con el sistema de control de inventarios que se establezca dentro del almacén; ya sea de revisión periódica o continua.

De acuerdo con (Velázquez, 2012) las decisiones sobre una política de inventarios se dividen en:

- Decisiones de reposición: relacionadas con la reposición del nivel de inventario. Estas deben tener en consideración:
 - La identificación de la demanda, dependiente o independiente.
 - El alcance de la información disponible para el reabastecimiento, es decir, el stock disponible, el solicitado y el que se encuentra en tránsito.
 - La coordinación para la reposición y control del inventario.
 - El tipo de revisión para definir cuándo lanzar un pedido y cuánto pedir.

- La definición de los indicadores de desempeño que permitan evaluar la política de inventario establecida.
- La ubicación del inventario ya sea centralizada o descentralizada.
- Decisiones de posición: referentes a la ubicación del inventario.

2.5.2.1 Modelo EOQ (Economic Order Quantity)

(Castillo, 2006) menciona que el modelo de lote económico o EOQ por sus siglas en inglés, desarrollado por Ford Harris en el año 1959, permite calcular la cantidad de producto que debe pedirse o fabricarse mientras se minimizan los costos de mantenimiento de inventario.

Dentro de la gestión del almacén se pretende alcanzar un equilibrio entre el riesgo de tener quiebres de stocks y el de almacenar un nivel excesivo de inventario, lo que supone un costo elevado. Por ello, el modelo EOQ tiene como objetivo determinar la cantidad de pedido que minimice el costo total de la gestión de inventario, para lo cual (Velázquez, 2012) manifiesta que la aplicación de este modelo depende del cumplimiento de los siguientes supuestos:

- Los lotes de pedido siempre son del mismo tamaño.
- La demanda de los ítems es constante y conocida.
- El tiempo de entrega también es constante.

Para establecer el pedido óptimo se debe considerar el costo de mantener el inventario y el costo de ordenar. Así, (Castillo, 2006) establece la siguiente nomenclatura para la descripción de este modelo:

y : cantidad del pedido [número de unidades].

D : de la demanda [unidades por unidad de tiempo].

t_0 : duración del ciclo de pedidos [unidades de tiempo].

K : costo de ordenar [dólares por pedido].

h : costo de almacenamiento [dólares por unidad del inventario por unidad de tiempo].

Se ordena un pedido de y unidades para recibirlo cuando el nivel de inventario es igual a cero. Las existencias se consumen de manera uniforme de acuerdo con una demanda constante D y el ciclo de pedidos para el período inicial se obtiene dividiendo la cantidad del pedido para la demanda, es decir, $t_0 = y/D$ [unidades de tiempo]. El inventario promedio se obtiene dividiendo las y unidades pedidas para dos y el costo total por unidad de tiempo se calcula mediante:

$$\frac{K + h \left(\frac{y}{2}\right) t_0}{t}$$

El valor óptimo de y se determina minimizando el costo total con respecto a y , bajo el supuesto de que es continua, así se obtiene:

$$y^* = \frac{2KD^{0.5}}{h}$$

No es necesario recibir el pedido en el instante en que se coloca la orden, puede transcurrir un tiempo L de entrega que deriva en un punto de reorden, el cual ocurre cuando el nivel de inventario desciende a LD unidades. Este tiempo de entrega L es menor que la duración del ciclo de pedido t_0^* . El tiempo de entrega efectivo se define como $Le = L - nt_0^*$, siendo n la cantidad de ciclos.

Finalmente, existen variaciones del modelo de lote económico, como el EOQ con descuentos por cantidad, el de artículos múltiples con límite de abastecimiento y el EOQ con entrega gradual del pedido.

2.5.3 Sistemas de control de inventario

Los sistemas de control de inventario se aplican en función del tipo de demanda de los ítems almacenados, ya sea dependiente o independiente (Carro & González, 2013). La demanda independiente resulta afectada por factores externos del mercado, por otro lado, la demanda dependiente está relacionada con el inventario de otros ítems para la distribución de artículos finales y partes de reemplazo.

(Velázquez, 2012) establece dos sistemas principales para el control de inventarios, el periódico y el continuo, a continuación, se describen cada uno de ellos:

Sistema de inventario periódico (P): conocido también como sistema de reorden a intervalos fijos o de reorden periódico, es empleado para empresas que venden artículos relativamente baratos, la posición del inventario se revisa periódicamente y no de forma continua. Este tipo de sistema simplifica la planificación de entregas porque los nuevos pedidos se colocan al final de cada revisión y el tiempo entre pedidos tiene un valor fijo.

De acuerdo con (Carro & González, 2013) la demanda de este sistema es una variable aleatoria y el tamaño del lote puede variar de un pedido a otro, y, con respecto a los supuestos del modelo EOQ, se mantienen cuatro los siguientes:

- No existen restricciones para el tamaño del lote.
- Los costos se generan por la manipulación del inventario y la preparación de pedidos.
- Las decisiones sobre el inventario de los ítems son independientes.
- No existe incertidumbre en los tiempos de entrega ni en el abastecimiento.

Sistema de inventario continuo (Q): conocido también como sistema de punto de reorden o cantidad de pedido fija, permite controlar el inventario de un ítem para identificar el momento en el que se debe realizar un nuevo pedido. Este tipo de sistema resulta de fácil aplicación gracias a la automatización de los almacenes, sin embargo, la pérdida de un ítem representa un alto costo.

(Carro & González, 2013) indica que la demanda y los tiempos de entrega de un sistema de inventario continuo no son predecibles, por ello, surge la necesidad de contar con un inventario de seguridad que permita enfrentar la incertidumbre de la demanda y establecer un punto de reorden.

A más de los dos sistemas antes mencionados, (Carro & González, 2013) establecen los siguientes:

Sistemas de dos depósitos: el inventario de un ítem se almacena en dos lugares diferentes, se extrae primero de uno y cuando este se termina, se utiliza el inventario del segundo depósito hasta que llegue el pedido de reabastecimiento. Este tipo de sistema está diseñado para artículos de bajo valor y demanda constante.

Sistemas de un solo depósito: se establece un nivel máximo de inventario y se repone periódicamente con base en ello.

Sistemas híbridos: aquellos sistemas conformados por ciertas características de los sistemas P (revisión periódica) y de los sistemas Q (revisión continua). Dentro de este sistema se encuentran:

- Sistema de reabastecimiento opcional: llamado también minimax, se usa para verificar la posición de inventario a intervalos fijos y cuando este descienda hasta el nivel mínimo predeterminado se coloca la orden de pedido de tamaño variable. El nivel mínimo actúa como un punto de reorden que evita las revisiones continuas.
- Sistemas de inventario base: cada vez que se realiza un retiro del stock se genera una orden de reabastecimiento Q por la misma cantidad. Este sistema conserva la posición del inventario a un nivel base idéntico a la demanda esperada durante el tiempo de entrega más un stock de seguridad, lo que lo convierte en el punto de reorden. Este sistema es recomendado para ítems muy costosos.

2.5.3.1 Rotación de inventario

La rotación de inventarios es un indicador que permite conocer el número de veces en que el inventario se convierte en dinero o en cuentas por cobrar para un período de tiempo determinado, es decir, señala el tiempo que tarda en venderse el inventario.

Este índice permite evaluar la efectividad del control de inventarios como parte de la gestión del almacén. (Guamantica, 2013) establece que mientras más alta sea la rotación mejor es la administración del inventario, para ello, lo ideal sería alcanzar el inventario cero para no disponer de recursos ociosos que se conviertan en inventario que no rotan o que lo hacen muy lentamente.

Las políticas de inventarios que se establezcan dentro del almacén deben orientar a la rotación del stock disponible para maximizar la utilización de los recursos disponibles. Este índice puede calcularse mediante:

$$\text{Rotación del inventario} = \text{Costo del inventario} / \text{Cantidad de inventario}$$

2.5.4 Estrategias de almacenamiento

Las estrategias de almacenamiento dependen de la decisión sobre la cantidad de inventario que se asignará en las ubicaciones disponibles dentro del almacén, y, a su vez, sobre el tipo de almacenamiento a emplear, el cual puede ser de tres tipos:

- Específico: en este tipo de almacenamiento los productos son asignados en ubicaciones fijas.
- Aleatorio: tipo de almacenamiento en el que los ítems se ubican en distintas locaciones de acuerdo con la disponibilidad de espacio dentro del almacén.
- Basado en la clase: los productos se ubican en zonas específicas de la bodega según sus características o funciones.

Para (Freile & Gutierrez, 2015) las estrategias de almacenamiento van de la mano con otras opciones que permiten mejorar el desempeño del almacén, sobre todo para la preparación de pedidos. Una de estas opciones consiste en dividir el almacén en dos áreas:

- Área de reserva: donde se almacenan todo el inventario disponible en grandes cantidades
- Área de picking: donde se almacenan pequeñas cantidades de inventario de todos los ítems para realizar la preparación de

pedidos de manera rápida y eficiente. El objetivo de establecer esta área dentro del almacén es minimizar las distancias recorridas y los tiempos de recorrido.

2.5.5 Sistemas de almacenamiento

Los sistemas de almacenamiento se conforman mediante la combinación de métodos y equipos que garanticen la optimización del almacenamiento de los ítems de acuerdo con su variabilidad, uso y características, así como también con los recursos disponibles dentro del almacén.

(Correa, Gómez, & Cano, 2010) establecen los siguientes sistemas de almacenamiento:

- En bloque: las unidades de carga se apilan colocando una encima de otra y no se utiliza ningún tipo de estructura de almacenamiento.
- En silos: específicamente para carga al granel, materiales de construcción o líquidos.
- En estanterías: según la unidad de carga las estanterías que se utilicen para el almacenamiento pueden ser:
 - Ligeras: para artículos livianos y de poco peso.
 - Cargas largas: para el almacenamiento de ítems de gran longitud como barras y tubos.
 - Paletización compacta: bloque compacto en profundidades y sin pasillos, se divide en drive in y drive through.
 - Paletización móvil: es un tipo de estantería compacta que puede abrirse y cerrarse a diferencia de la estantería de paletización móvil.
 - Paletización dinámica: sistema de almacenamiento compacto con un grado de inclinación que solo puede aplicarse con método fifo.
 - Estanterías especiales: para el manejo de productos con características especiales, métodos de almacenamiento fifo o lifo y cuando se requiere el uso de equipos de manipulación especiales.

- Automáticos: sistemas de almacenamiento completamente automatizados que consideran el uso de carruseles, miniload, transelevadores de pallet, etc.

Antes de aplicar cualquier sistema de almacenamiento se debe evaluar las características de los ítems, la unidad de carga, los equipos de manipulación, los costos operativos y las TIC's disponibles para la identificación y ubicación del inventario dentro del almacén y así poder garantizar una correcta operación.

2.5.6 Métodos de almacenamiento

Luego de recibir los productos en la bodega se procede a almacenarlos de acuerdo con el método de almacenamiento que se establezca dentro del almacén según el tipo de producto que se almacene (Freile & Gutierrez, 2015). Estas técnicas permiten mantener una organización en la salida del inventario de acuerdo con la estructura física del almacén.

Según el método de almacenamiento seleccionado, se procede a ubicar los ítems en las locaciones determinadas dentro del almacén para que las operaciones de este sean más eficientes. Para (Miranda & Albarracín, 2013) los métodos de almacenamiento más empleados son:

FIFO (First In First Out): lo que en español significa el primero en ingresar es el primero en salir, consiste en un proceso secuencial de salida del inventario que se realiza en función de su llegada.

FEFO (First in Expired First Out): lo primero en expirar es lo primero en salir, este método se relaciona directamente con la fecha de caducidad de los ítems, por lo que deben ser ubicados de forma estratégica para que se despachen en el orden que sean almacenados.

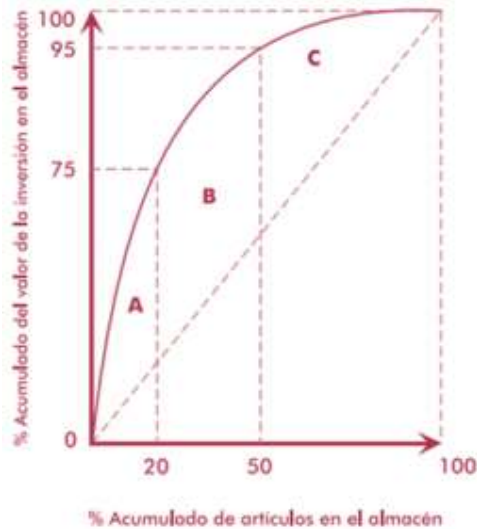
LIFO (Last In First Out): lo último en ingresar es lo primero en salir, el orden de llegada se maneja de forma inversa.

2.5.6.1 Clasificación ABC

(Freile & Gutierrez, 2015) indica que la metodología ABC o también conocida como ley de Pareto, permite separar los productos en función de su nivel de importancia, es decir, aquellos de mayor importancia tendrán un mayor control dentro del almacén. Estos ítems pueden representar una cantidad considerable del inventario, pueden ser los de mayor rotación o aquellos que requieren de gran espacio para su almacenamiento.

Generalmente, para el análisis de Pareto se utiliza las ventas, así, la interpretación de los resultados indica que el 80% de las ventas se concentra en el 20% de los ítems que se encuentran dentro del almacén. A su vez, esta metodología clasifica los productos en tres grupos; los ítems de categoría A que representan entre un 60% - 75% de las ventas, los ítems de categoría B que representan entre 15% - 40% y los ítems de categoría C que representan entre un 5% - 10% (ver figura 2.4).

Figura 2.4 Ley de Pareto



Fuente: (Freile & Gutierrez, 2015)

Para realizar esta clasificación ABC se debe:

- Decidir cuál es la variable con la que se quiere trabajar.
- Registrar y enumerar los ítems en una base.

- Ordenar la base anterior y determinar los porcentajes con sus acumulados.
- Categorizar los ítems y establecer principios para una correcta gestión.

(Freile & Gutierrez, 2015) manifiesta que con la metodología ABC aquellos productos de categoría A o de mayor rotación deben ubicarse cerca de la zona de las zonas de recepción y despacho, mientras que los productos de categoría B y C pueden ubicarse en función de su uso.

Esta técnica permite realizar de forma más eficiente la preparación de pedidos a través de la minimización de los recorridos, evitando incompatibilidades, maximizando la utilización de espacios y facilitando el control y seguridad del inventario dentro del almacén.

2.5.6.2 Principios para la localización de artículos en un almacén

(Pascual Montero, 2019) establece que la localización de materiales o productos dentro de un almacén condiciona el proceso de picking y su eficiencia. Su principal objetivo es minimizar las distancias y tiempos de recorrido mientras se cumple con la preparación de pedidos.

Al momento de decidir las ubicaciones de los ítems se debe considerar principalmente la optimización del área o espacio disponible para el almacenamiento, para ello, (Freile & Gutierrez, 2015) establecen los siguientes principios para la localización de materiales o productos dentro del almacén, a continuación, se detallan.

Principio de popularidad: basado en el análisis de Pareto tiene como objetivo maximizar la utilidad de los ítems más representativos del almacén a través de la minimización de las distancias recorridas. Para este tipo de productos se recomienda un almacenamiento de triple o doble profundidad.

Principio de semejanza: aplica para aquellos ítems que deben ser recibidos, almacenados y despachados de manera simultánea; una estrategia de almacenamiento para este tipo de artículos puede ser la

clasificación por familias. Adicional, se debe considerar la compatibilidad y complementariedad de los productos.

Principio del tamaño: este principio establece que los productos de mayor peso o complejidad de manipulación deben ser ubicados cerca de las zonas de uso, en ubicaciones bajas y altas respectivamente, con la finalidad de reducir los costos de manipulación.

2.6 Preparación de pedidos

La preparación de pedidos o también conocida como picking, es una de las actividades que se llevan a cabo en cualquier tipo de almacén. Este proceso consiste en seleccionar y separar los ítems de un pedido para que sean consolidados, acondicionados y despachados hacia el cliente en las cantidades y tiempos requeridos, cumpliendo siempre con los estándares de calidad establecidos y al menor costo posible (Freile & Gutierrez, 2015).

El proceso de picking afecta proporcionalmente el rendimiento de las operaciones logísticas del almacén, pudiendo convertirse en un cuello de botella por el movimiento del personal y por los errores generados durante la preparación de los pedidos.

(Pascual Montero, 2019) manifiesta que de todas las operaciones que se realizan dentro del almacén, la preparación de pedidos es la más costosa, dado que, los costos de manipulación y mantenimiento recaen principalmente sobre las unidades de carga individuales más no sobre las consolidadas.

La automatización del picking de acuerdo con (McGraw Hill Education, 2017) es compleja y no se logra por completo, de allí la justificación de los altos costos en los que incurre este proceso. Según un estudio realizado por la editorial estadounidense el costo total de un almacén se ve reflejado en un 90% en la preparación de pedidos, seguido de un 7% con respecto al almacenamiento y finalmente un 3% en cuanto a la carga, descarga y distribución.

El picking tiene como objetivo principal maximizar el nivel de servicio al cliente mediante la minimización de las distancias recorridas mientras se cumple con las restricciones de capital y recursos (mano de obra y equipos). Debido a que el recorrido es una de las actividades que mayor tiempo consume dentro de la preparación de pedidos, se busca mejorar la gestión del almacén a través de los siguientes objetivos:

- Coordinar el uso de estanterías, carretillas, métodos organizativos, tecnologías, etc.
- Eliminar los errores para satisfacer los requerimientos de calidad solicitados por el cliente.
- Minimizar los tiempos de operación para la consolidación de una orden.
- Maximizar el aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento y de los recursos.

(Pascual Montero, 2019) establece las siguientes técnicas de picking:

En función del momento que se realiza:

- Picking discrecional: cuando una persona prepara la orden línea por línea de acuerdo con el pedido manteniendo su integridad.
- Picking programado: se realiza de forma periódica cumpliendo con el programa establecido.

En función de la organización:

- Picking "in situ": la persona encargada de preparar el pedido se mueve hacia los ítems y realiza el picking a bajo nivel.
- Estaciones de picking: contrario al picking in situ, en esta técnica el ítem se mueve hacia el picker.

En función de los recursos informáticos:

- Picking manual: en este interviene más personal y exige un trabajo más personalizado con reajuste de los niveles de inventario. Existen dos sistemas de picking manual, estos son:

- Parts to picker: cuando los ítems son llevados de forma automatizada hacia el picker que se encuentra en una ubicación fija.
- Picker to parts: el picker se traslada por el almacén recogiendo los ítems de la orden. Este sistema presenta tres dificultades; la asignación de los productos a las diferentes localizaciones (altas o bajas), las agrupaciones de los pedidos de los clientes y la definición de la ruta para la recogida de pedidos.
- Picking asistido por computador: se ejecuta mediante un ordenador.
- Sistemas basados en radio frecuencia: picking realizado mediante la identificación de códigos de barra en los ítems.

2.6.1 Principios de la preparación de pedidos

(Freile & Gutierrez, 2015) manifiestan que para la preparación de pedidos se debe considerar ciertos principios claves que permiten mantener la eficiencia del proceso, a continuación, se detallan:

- Emplear la metodología ABC para identificar los ítems con mayor rotación o popularidad y poder así disminuir el tiempo de recorrido durante el picking.
- Utilizar un documento con formato claro y sencillo que contenga información sobre la ubicación y ruta a seguir, el stock y la cantidad requerida de los ítems para la preparación del pedido.
- Conservar un sistema de localización efectivo para la preparación de pedidos.
- Combinar y reducir las actividades del picking para automatizar el proceso.
- Organizar los pedidos en lotes para disminuir el tiempo de recorrido.
- Delimitar por separado el área de reserva y de picking en función del nivel de rotación de los ítems.

- Ubicar los ítems dentro del almacén de acuerdo con el índice de rotación, el tamaño, la frecuencia de picking, el volumen de envío, las semejanza, complementariedad y compatibilidad.
- Crear carros de picking para disminuir el tiempo de clasificación y los errores durante la preparación del pedido.
- Implementar tecnologías de información y comunicación para hacer más ágil y eficiente la preparación de pedidos.

2.6.2 Metodologías empleadas para picking

En la actualidad existen diversas metodologías que permiten agilizar y mantener la eficiencia del proceso de picking, entre las más usadas se encuentran las detalladas por (Freile & Gutierrez, 2015):

- Picking básico: cuando se almacenan los ítems en ubicaciones fijas para que el picker prepare una orden a la vez recorriendo cada pasillo hacia arriba y abajo hasta completar el pedido.
- Batch picking o recolección por lotes: consiste en recolectar de forma agrupada los pedidos para posteriormente separarlos y clasificarlos en las órdenes correspondientes. Esta metodología utiliza el criterio de proximidad entre las ubicaciones y el de las ventanas de tiempo para la recolección por lotes (Vallecilla & Torres, 2017).
- Pick to box o extracción directa: se basa en la preparación de distintas órdenes a la vez y se divide en dos técnicas:
 - Sort-while-pick: separar y clasificar al mismo tiempo en que se recorre el almacén.
 - Pick-and-sort: realizar primero el picking de todas las órdenes para luego separarlas y clasificarlas.
- Zone picking o recolección por zonas: se divide la bodega en varias zonas y se asigna un picker en cada una de ellas, por lo que, la orden es dividida en varias listas de picking. Según (Vallecilla & Torres, 2017) una desventaja de esta metodología es que las órdenes deben ser consolidadas antes del despacho.

- Wave picking o recolección por oleadas: consiste en agrupar los pedidos haciendo uso de una ruta óptima bajo el concepto de no recorrer dos veces el mismo pasillo para satisfacer la planificación de entrega (Freile & Gutierrez, 2015).
- Bucket Brigades o Brigadas de cubo: esta metodología basada en la forma que empleaban antiguamente los bomberos para apagar los incendios se basa en la organización de los pickers según su nivel de rapidez manteniendo la línea de flujo del ítem, es decir, el picker más ágil recoge la mayor cantidad de ítems posibles y se los entrega al siguiente picker y así sucesivamente hasta completar la orden. De acuerdo con (Vallecilla & Torres, 2017) esta metodología ha pasado por algunas variaciones a lo largo del tiempo, entre ellas, una combinación con la metodología de zone picking.

2.6.3 Tecnologías empleadas para picking

Las tecnologías de información y comunicación (TIC's) se han convertido en una herramienta clave para agilizar, flexibilizar y mejorar la gestión del almacén mediante la eficiencia y utilización de los sistemas de almacenamiento, los cuales contribuyen con la planeación, ejecución y control de las operaciones, materiales y recursos.

Algunas de las TIC's más reconocidas se relacionan estrechamente con los procesos de la gestión de almacenes; desde la recepción y control hasta el despacho, permitiendo desarrollar funciones de identificación y trazabilidad de los ítems. Sin embargo, también existen otras TIC's específicas para el proceso de picking (Correa, Gómez, & Cano, 2010).

Con respecto a las tecnologías empleadas para llevar a cabo la preparación de pedidos, (Pascual Montero, 2019) detalla las siguientes:

Warehouse Management System (WMS): o en español sistema de gestión de almacenes, es una aplicación de software que permite controlar cada etapa de la operación logística dentro del almacén o centro de distribución.

Radio Frequency Identification (RFID): identificación por radiofrecuencia, consiste en un sistema de almacenamiento y restablecimiento de datos mediante etiquetas, transpondedores o tags RFID, lo que la convierte en la tecnología más utilizada y flexible.

Código de barras: es un conjunto de líneas paralelas y verticales de diferente grosor que sirven para codificar y comparar información de un ítem como sus características, precio, fecha de caducidad, etc.

Pick to light o recolección por luces: esta tecnología se basa en guiar por señales ópticas al picker hacia las diferentes zonas de almacenamiento para recoger los ítems de manera rápida y precisa. La principal ventaja del pick to light es que resiste altas velocidades para la preparación de pedidos.

Pick to voice o recolección por voz: este sistema emite un mensaje de voz hacia el picker para que se dirija al lugar donde se encuentra el producto indicándole la cantidad requerida de este. La ventaja de esta tecnología es que el picker se comunica directamente con el WMS permitiéndole realizar un picking de manos libres (Vallecilla & Torres, 2017).

Picking por visión: es una tecnología en la que se da las instrucciones al picker mediante unas gafas especiales, indicándole el producto y la cantidad que debe recoger. Este sistema también se aplica a las tecnologías de radiofrecuencia y al pick to light.

2.6.4 Modelos de optimización para picking

La optimización matemática consiste en la agrupación de distintas técnicas de modelado para hallar soluciones a problemas de asignación o planificación óptima de recursos limitados (Pascual Montero, 2019). Los objetivos de estos modelos consisten en reducir costos, minimizar tiempos o distancias, maximizar beneficios, incrementar ventas, entre otros; los cuales aportan un gran valor a la empresa reflejándose en los resultados financieros.

Dentro del proceso de picking los modelos de optimización matemática tienen un gran impacto en las distancias recorridas, ya que su finalidad es minimizar las zonas de visitas para la preparación de pedidos como lo indica (Sánchez, 2019).

A continuación, se detallan algunos de los modelos de optimización más usados para picking de acuerdo con (Pascual Montero, 2019).

Ruteo óptimo: el problema del agente viajero (TSP) tiene muchas similitudes con los recorridos que el picker debe realizar para preparar los pedidos dentro del almacén, el cual inicia desde un punto de origen hacia las diferentes estanterías y finaliza el recorrido en el punto de inicio. El objetivo es hallar la ruta más corta para visitar cada zona (Vallecilla & Torres, 2017).

Ruteo heurístico: este tipo de modelos son los más comunes por su facilidad de implementación. Los heurísticos más populares son:

- Transversal o en forma de S: también conocida como S-Shape, es la más sencilla de todas. Con este modelo el picker ingresa a todos los pasillos para recolectar por lo menos un ítem hasta que complete la orden. Si la cantidad de pasillos dentro del almacén es impar, entonces el último pasillo se recorre hasta el producto más alejado, sin necesidad de recorrer el pasillo entero.
- Política de retorno: cuando el picker ingresa y sale por el mismo lado del pasillo y recorre únicamente aquellos que son necesarios.
- Política de punto medio: los pasillos se dividen en dos partes iguales y el picker ingresa hasta la mitad de ambos pasillos.
- La brecha más larga: también conocido como largest gap, máxima distancia entre dos productos consecutivos dentro del mismo pasillo, o la distancia entre el pasillo transversal y el producto más cercano situado en el pasillo paralelo; es una estrategia similar a la del punto medio, pero sin la división de los pasillos. Con esta política el picker se dirige hacia el ítem más lejano del pasillo y regresa, de esta manera recorre por completo tanto el primero como el último pasillo sin atravesar el denominado largest gap.

- Política compuesta: es una combinación entre la de retorno y la de S-Shape, en la que el picker decide si recorre por completo el pasillo o solo hasta la mitad, y, únicamente considera dos pasillos adyacentes para el recorrido.
- Política combinada: similar a la compuesta, pero con la diferencia de que el picker no debe considerar solo dos pasillos adyacentes sino todo el bloque de almacenamiento, para ello, debe evaluar cuál es el recorrido más corto.

(Vallecilla & Torres, 2017) consideran que las políticas de ruteo heurístico disponen de una metodología más adecuada para dar solución al problema de minimización de recorridos dentro del almacén; puesto que, se adaptan a cualquier layout, estandarizan las operaciones y en la mayoría de los casos no requieren el uso de equipos de manipulación ni el aumento de personal.

2.6.4.1 Algoritmo de pick and sort

(Gaviño, Casarrubias, & Chávez, 2020) manifiestan que este algoritmo sigue una política de picking by article, la cual consiste en llevar a cabo el proceso de recuperación de todos los SKU's, depositarlos en cajas o estiba sin ninguna diferenciación.

Una vez culminado este proceso, todos los SKU's son trasladados a una zona donde se clasifican y consolidan de acuerdo con las líneas del pedido, esto permite disminuir el cuello de botella en el área de picking, aumentar la productividad de los pickers y disminuir los errores en la preparación de los pedidos.

De acuerdo con (Otero, Bolívar, & Rincón, 2016) la agrupación por lotes se ha convertido en una decisión fundamental dentro de la gestión, diseño y control de bodegas, así como también en un factor clave para el éxito de las políticas de picking.

La agrupación por lotes consiste en disponer cómo serán consolidados los pedidos de los clientes para ser recolectados en un solo viaje y así

minimizar la distancia total recorrida. Sin embargo, debido a la complejidad computacional que se presenta al momento de resolver este problema haciendo uso de métodos exactos, se han planteado varios procedimientos heurísticos para resolverlo. Entre ellos, los más destacados son los propuestos por:

- Andrew L. Johnson y Brett A. Peters (2012), quienes emplearon programación lineal mixta y una heurística con base en un recorrido simulado para consolidar los pedidos en lotes.
- Chih-Ming Hsu, Kai-Ying Chen y Mu-Chen Chen (2005) plantearon una heurística basada en algoritmos genéticos para consolidar los pedidos mientras se reduce el tiempo total de recorrido.
- Sebastian Henn y Gerhard Wäscher (2012) propusieron dos heurísticas con base en los principios de búsqueda tabú para disminuir el número de lotes y la distancia total recorrida.

(Otero, Bolívar, & Rincón, 2016) establecen que luego de consolidar los pedidos en lotes, se debe identificar la ruta de recolección de los productos que minimice la distancia total recorrida. Este escenario puede modelarse a través del problema del agente viajero TSP (Travelling Salesman Problem), pero, debido al diseño y forma de los almacenes y sus estanterías, la distancia entre dos puntos depende de la distribución de estas últimas, por lo que no puede obtenerse una distancia euclidiana.

La ruta de recolección de pedidos debe realizarse en forma de S a través de las estanterías, con ello, se garantiza la minimización de la distancia total recorrida y se obtiene una ruta única que será fácil de recordar para el picker. En el siguiente apartado se detalla el algoritmo empleado.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

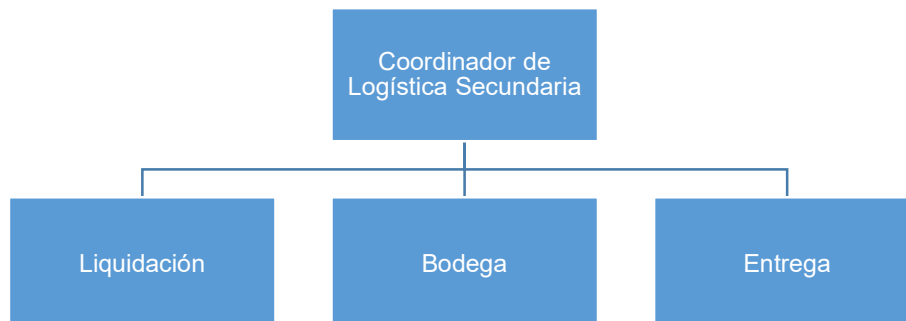
3.1 Generalidades de la bodega

La bodega que se encuentra ubicada en la ciudad de Quito recibe las bebidas como producto terminado desde sus dos principales plantas de producción: Guayaquil y Machachi. Los productos son distribuidos en tractocamiones (trailer) con capacidad de 30 toneladas y haciendo uso de quillas donde caben 36 pallets, esta distribución es denominada como TL (transporte logístico) primario.

Diariamente se reciben entre cuatro a siete TL primarios desde ambas plantas con el mix de producto para cubrir la demanda del mercado. El portafolio de ítems cuenta con 91 SKU's que corresponden a bebidas como agua, gaseosa, energizante y jugo. El proceso de entrega de pedidos a los clientes se realiza en camiones de cinco toneladas con capacidad para ubicar seis pallets distribuidos en seis bahías.

La administración general para la logística de la agencia Quito Norte se detalla en la figura 3.1, donde se observa que quién lidera la operación es el coordinador de logística secundaria teniendo a su cargo los procesos de liquidación, almacenamiento (bodega) y despacho (entrega).

Figura 3.1 Administración general de la agencia Quito Norte



Fuente: Elaboración propia, 2021

En la actualidad, la bodega de bebidas con sede en Quito Norte dispone de un área total de 8.395 m², de los cuales, 2.500 m² han sido designados para las actividades propias de bodega y almacenaje, y, 1.047 m² para el patio de maniobras donde se realiza el proceso de carga y descarga de los camiones secundarios y los TL primarios.

La bodega cuenta con almacenamiento tanto en racks como en piso con una capacidad de 1.512 posiciones (tipo Drive – In) y de 150 posiciones respectivamente. Para el apilamiento de los productos, se emplean pallets de madera estándar (1m x 1.20m), ver figuras 3.2 y 3.3, y se maneja una política de almacenamiento basada en el método FIFO (First In - First Out), considerando que la vida útil de las bebidas oscila entre tres a seis meses.

Figura 3.2 Vista frontal y dimensiones de un pallet de madera estándar



Fuente: (WALPACK, 2021)

Figura 3.3 Vistas superior, inferior y lateral de un pallet de madera estándar

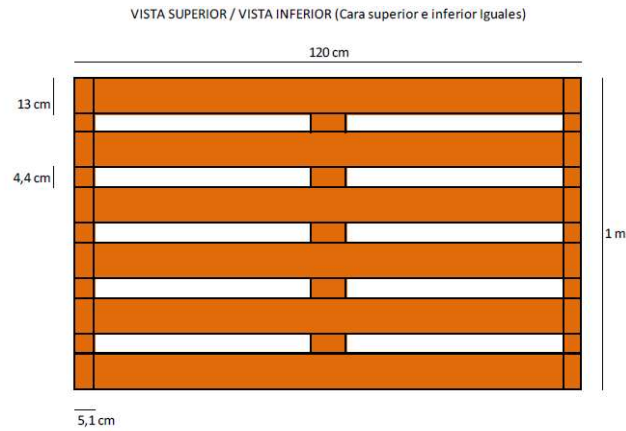
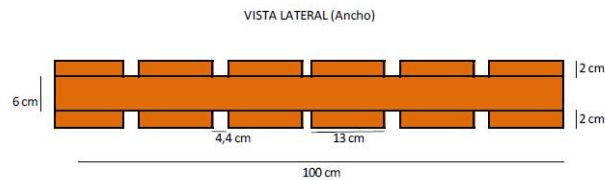


Figura IV-3 VISTA SUPERIOR / INFERIOR PALLETS ESTÁNDAR

Fuente: <http://www.walpack.cl/productos.php>



* 6 Tiras

Fuente: (WALPACK, 2021)

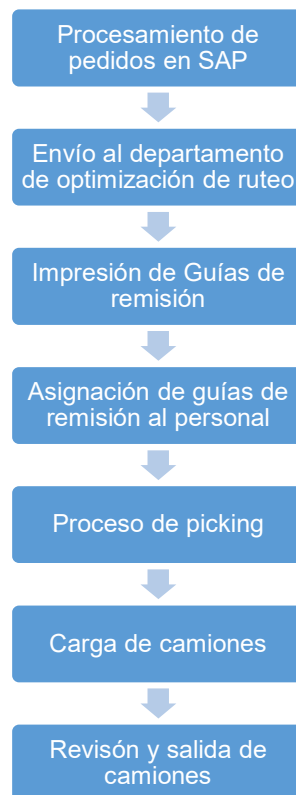
Con respecto a los equipos de manipulación que se utilizan dentro de la bodega, se encuentran dos montacargas de combustión que tienen una altura máxima de cuatro metros y una capacidad de carga de 2.500 kg, el contrato de servicio de montacargas es externo y estipula la asignación de un equipo como back up para mitigar los posibles riesgos de afectación por fallas mecánicas, con esto se garantiza la continuidad de la operación.

Dentro de la bodega se cuenta con el área de picking, para la cual se ha designado 250 m² aproximadamente. Este proceso no tiene un procedimiento establecido formalmente, se basa en la experiencia y habilidades empíricas que han sido desarrolladas por el personal a lo largo de los meses dentro de la compañía, por ello, con frecuencia se implementan cambios prácticos en búsqueda de mejorar las condiciones para el armado de los pedidos.

3.2 Descripción general del proceso

En la figura 3.4 se describe el proceso que se lleva a cabo dentro de la bodega en la agencia Quito Norte, el cual inicia con la recepción de los pedidos en el sistema y finaliza con el despacho de este hacia el cliente.

Figura 3.4 Proceso en bodega

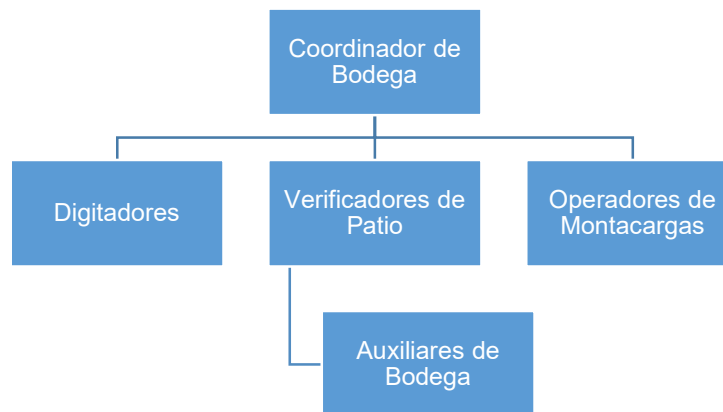


Fuente: Elaboración propia, 2021

3.2.1 Actividades y funciones designadas al personal de bodega

La administración de la bodega Quito Norte se encuentra direccionada por el coordinador de Bodega, quien se encarga de brindar los alineamientos necesarios a los digitadores, verificadores de patio, auxiliares de bodega y operadores de montacargas. La figura 3.5 muestra lo antes descrito.

Figura 3.5 Personal de bodega



Fuente: Elaboración propia, 2021

A continuación, se detallan las funciones y actividades que ejerce cada cargo dentro de la administración de la bodega, así como también la cantidad de personal disponible:

Coordinador de Bodega (1): es el encargado de controlar y supervisar todas las actividades relacionadas con la administración de la bodega. Entre las principales funciones de esta persona se encuentran el cuadro de inventario, el reorden diario de productos, la organización de equipos de trabajo, entre otras.

Digitadores (2): en la bodega Quito Norte se maneja horarios rotativos con dos turnos:

- Turno de la mañana:
 - Supervisa la salida de los camiones hacia el mercado garantizando el cumplimiento de los procesos.
 - Recibe TL primario y los ingresa en SAP.
 - Brinda soporte con el conteo de inventario.
- Turno de la noche:
 - Realiza el procesamiento de pedidos en SAP.
 - Confirma el envío de las instancias para el armado al departamento de optimización de rutas.
 - Recibe número de transportes (codificación que representan una guía de remisión o carga de un camión secundario).

- Imprime las guías de remisión que contienen el detalle de los productos y cantidades que se deben asignar a cada camión secundario.
- Envía la reportería diaria.

Verificadores de Patio (3): trabajan en horarios rotativos y realizan las siguientes funciones:

- Turno de la mañana:
 - Supervisa la salida de camiones secundarios.
 - Realiza la toma física de inventario.
 - Controla el envío de activos de giros y la recepción de TL primario.
 - Garantiza el orden y limpieza de la bodega.
- Turno de la tarde:
 - Apoya en la supervisión del envío de activos de giros y la recepción de TL primario.
 - Controla el retorno de los camiones secundarios y la recepción de papelería.
 - Garantiza el orden y la limpieza del área de retornables (envases y chancletas vacías).
- Turno de la noche:
 - Revisa los retornos de las rutas de entrega (camiones secundarios).
 - Recibe y ordena las guías de remisión.
 - Asigna las guías de remisión al equipo de auxiliares de bodega.
 - Valida el armado de los pedidos antes de que sean cargados a los camiones secundarios.

Auxiliares de Bodega (11): Dentro de sus funciones se encuentran el armado de los pedidos de acuerdo con las guías de remisión asignadas, así como también asegurar el orden y la limpieza de la bodega.

Las guías de remisión hacen referencia a los documentos donde se detallan los ítems y las cantidades que se deben asignar a cada camión para la

entrega al día siguiente. Los retornos de los camiones secundarios corresponden a las devoluciones de los clientes, cambios de producto por encontrarse en malas condiciones o envases vacíos.

3.2.2 Análisis de la situación actual dentro de la bodega

El análisis de la situación actual con respecto a la gestión del almacén de la agencia Quito Norte detalla lo siguiente:

Fortalezas:

- El proceso operativo dentro de la empresa se encuentra estandarizado en todas las agencias a nivel nacional.
- El departamento de optimización de ruteo garantiza el uso eficiente de la flota.
- El uso de SAP como software de administración de información.
- La infraestructura en buenas condiciones: racks, pisos, oficinas, montacargas.

Oportunidades:

- La compañía está en búsqueda de incrementar su portafolio de productos, lo que aumentaría el nivel de operación.
- La necesidad de inversión en la adquisición de tecnología para la optimización de armado de pedidos.

Debilidades:

- No existe un procedimiento para el armado de pedidos, este se realiza con base en la experiencia del auxiliar de bodega o picker.
- El nivel de rotación del personal es alto y por tanto la curva de aprendizaje se extiende ya que no se encuentra definido un manual o guía de funciones.
- Los errores en el armado de los pedidos por ejecutarlos de forma manual y empírica.
- Los tiempos de picking son muy altos debido a que no existe un recorrido óptimo.

- La entrega de pedidos incompletos o el retraso en el despacho de estos por falta de inventario ya que no se maneja un stock de seguridad.
- El layout actual dentro de la bodega no es estratégico, lo que genera que los recorridos de picking sean más extensos.

3.3 Clasificación ABC de los ítems

La clasificación ABC o ley de Pareto, permite determinar aquellos ítems que representan la mayor inversión de capital para la compañía, es decir, los que requieren un mayor control con respecto al inventario y por ende una correcta gestión de este en cuanto a los procesos de bodega que se ejecuten.

Los cálculos realizados para categorizar los ítems se llevaron a cabo en función de las ventas netas correspondientes al período 2020, en el anexo A se detalla la clasificación ABC para el portafolio de productos que se almacenan dentro de la bodega en la agencia Quito Norte, donde se observa que de los 84 SKU's almacenados, 24 de ellos pertenecen a la categoría A, es decir, para el período 2020 fueron aquellos con mayor representación en ventas e inversión.

3.4 Planteamiento del modelo matemático

La formulación del modelo de picking se detalla a continuación:

Índices

- F: factura.
- I: ítem inicial.
- J: ítem final.

Parámetros

- $\text{ElemFac}_{(f,i)}$: ítem i perteneciente a la factura f.
- $D_{(i,j)}$: distancia desde el ítem i hacia el ítem j.

Variables

- $X_{(f,i,j)}$: asignación de la ruta de picking para la factura f desde el ítem i hacia el ítem j .
- Z_1 : ruta óptima para el picking en función de la distancia.

Función Objetivo

1. La ecuación 3.1 representa el recorrido mínimo de la factura f con los ítems i y j .

$$\text{Min } z_1 = \sum_{f,i,j}^{F,I,J} D_{ij} * X_{fij} \quad \mathbf{3.1}$$

Restricciones

1. Se escogerá un ítem j de la factura f para el inicio del ruteo (ver ecuación 3.2).

$$\sum_{j=1, i \neq j}^J X_{fij} = 1 \quad \forall f \quad \forall i \quad \mathbf{3.2}$$

2. Se escogerá un ítem i de la factura f para finalizar el ruteo (ver ecuación 3.3).

$$\sum_{i=1, i \neq j}^I X_{fij} \leq 1 \quad \forall f \quad \forall j \quad \mathbf{3.3}$$

3. Para cada factura se debe recoger todos los ítems, esto se refleja en la ecuación 3.4.

$$\sum_{i=1, j=1}^{I,J} X_{fij} = \sum_{i=1}^I \text{ElemFac}_{fi} \quad \forall f \quad \mathbf{3.4}$$

4. El ítem asignado debe pertenecer a la factura f (ver ecuación 3.5)

$$\sum_{j=1}^J X_{fij} = \text{ElemFac}_{fi} \quad \forall f \quad \forall i \quad \mathbf{3.5}$$

Restricciones lógicas para la asignación de la ruta de picking (ver ecuación 3.6)

$$X_{fij} \in \{0, 1\} \quad 3.6$$

3.5 Desarrollo de la heurística Pick & Sort

A continuación, se detalla el algoritmo planteado por (Otero, Bolívar, & Rincón, 2016), siendo:

- O: conjunto de órdenes.
- K: capacidad de cada grupo.

La heurística se ejecuta de la siguiente manera:

- 1) Leer: O, k.
- 2) Ordenar O en forma descendente según su volumen total.
- 3) Para cada orden principal en O hacer:
- 4) Asignar orden principal a un nuevo lote.
- 5) Establecer estado de orden principal asignado.
- 6) Volumen disponible = k – volumen (orden principal).
- 7) Centro gravedad lote = obtener centro gravedad (orden principal).
- 8) Minimizar distancia centro = 1000000.
- 9) Para cada orden secundaria en O que no ha sido asignada hacer:
- 10) Si el volumen disponible – volumen (orden secuencia) ≥ 0 ; entonces:
- 11) Distancia centro = calcular distancia (orden secundaria, centro gravedad lote).
- 12) Si distancia centro < minimizar distancia centro y hacer:
- 13) Minimizar distancia centro = distancia centro.
- 14) Fin si.
- 15) Fin si.
- 16) Agregar a lote la orden secundaria con minimizar distancia centro y establecer estado de orden secundaria asignada.
- 17) Fin para.
- 18) Fin para.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

Para la obtención de los resultados se utilizó el lenguaje de programación Wolfram Mathematica mediante diferentes comandos y funciones que procesaron la data ingresada y proporcionaron conclusiones relevantes. Se debe mencionar que los inputs empleados en este análisis fueron facilitados por la compañía a través de los sistemas de información ERP y SAP. A continuación, se detallan los datos utilizados para la aplicación de la heurística propuesta:

- Facturas (órdenes de pedido) de los cuatro primeros días del mes de enero del año 2020.
- Coordenadas de ubicación de los ítems.

Los resultados que se detallan corresponden a 82 facturas procesadas en función del ahorro en la distancia del recorrido, primero se expone la situación actual con respecto a la forma en que se realiza el picking dentro de la bodega para luego mostrar los resultados obtenidos con la aplicación de la heurística en Wolfram Mathematica (ver Anexo B).

4.1 Distancia del recorrido actual

El picking que actualmente realiza la bodega corresponde a la preparación del pedido agrupando las facturas por zona de acuerdo con la ubicación de los ítems. Para la muestra seleccionada de cuatro días se consideró la muestra de 82 facturas.

La tabla 4.1 muestra el orden, la distancia del recorrido al realizar el picking como se ejecuta en la actualidad dentro de la bodega. La primera columna representa la orden de pedido atendida, en la columna picking actual se muestra el recorrido y en la última columna se detalla la distancia actual.

Tabla 4.1 Distancia del recorrido picking actual

ORDEN FACTURA	PICKING ACTUAL	DISTANCIA ACTUAL (m)
1	{1, 2, 63, 13, 69, 70, 60, 11, 84, 65, 66, 18, 19, 20, 43, 46, 54, 7, 47, 78, 6, 45, 59, 64, 75, 82, 83, 21, 52, 36, 39, 27, 77, 80, 22, 50, 40, 71, 72, 8, 9, 41, 76, 48, 49, 79, 58, 24}	45.1
2	{2, 64, 71, 72, 31, 20, 11, 60, 13, 52, 63, 66, 59, 65, 74, 69, 54, 18, 19, 1, 83, 48, 78, 79, 80, 81, 84, 7, 82, 58, 41, 47, 33, 8, 40, 49, 50, 43, 75}	40.08
3	{1, 2, 20, 84, 36, 39, 50, 63, 33, 18, 60, 7, 54, 13, 40, 47, 64, 49, 73, 59, 81, 82, 22, 43, 21, 11, 19, 52, 66, 8, 9, 67, 68, 69, 70, 78, 80, 65, 51, 56, 74, 76, 12, 75, 83, 55}	44.11
4	{59, 84, 13, 1, 6, 2, 63, 64, 7, 18, 20, 29, 60, 40, 54, 19, 47, 52, 77, 65, 82, 81, 83, 74, 8, 9, 11, 36, 66, 55, 39, 50, 70, 67, 68, 69, 22, 75, 49, 21, 41, 45, 58, 43, 76, 80, 79, 34, 3, 5, 26, 37, 78, 4, 46}	52.82
5	{1, 2, 9, 67, 69, 70, 65, 47, 13, 31, 81, 82, 84, 59, 19, 20, 7, 52, 76, 63, 64, 60, 66, 40, 54, 41, 58, 83, 77, 73, 44, 78, 79, 80, 14, 16, 18, 29, 42, 74, 17, 45, 22, 21, 71, 72, 55, 11, 36, 39, 8, 46, 62}	53.2
6	{47, 1, 2, 7, 13, 20, 43, 79, 80, 84, 36, 39, 54, 8, 9, 68, 70, 56, 59, 60, 18, 63, 19, 67, 69, 83, 42, 65, 40, 12, 49, 50, 27, 29, 41, 71, 72, 78, 81, 82, 66, 75, 21, 22, 58, 11, 73, 45, 44, 23, 24, 55, 64}	50.27
7	{31, 2, 47, 84, 18, 19, 20, 36, 39, 60, 58, 7, 40, 45, 63, 75, 1, 23, 24, 76, 54, 49, 50, 59, 8, 65, 66, 64, 71, 72, 41, 13, 82, 11, 21, 14, 15, 22, 33, 55, 6, 26, 27, 29, 30, 9, 81, 79, 80}	41.59
8	{60, 84, 21, 65, 2, 7, 22, 66, 1, 63, 79, 80, 59, 13, 18, 20, 47, 19, 54, 6, 55, 64, 74, 40, 67, 8, 26, 77, 82, 11, 36, 39, 41, 31, 9, 14, 15, 16, 17, 69, 83, 23, 24, 45, 52, 81, 75, 78, 42, 43, 76}	51.3
9	{30, 31, 47, 84, 63, 13, 20, 55, 18, 19, 43, 58, 65, 52, 66, 81, 82, 2, 59, 60, 7, 54, 64, 8, 1, 9, 15, 11, 17, 41, 45, 78, 79, 80, 83, 69, 67, 70, 75, 22, 74, 21, 76, 29, 40, 77, 4, 3, 5, 37, 46, 68, 23, 24, 62, 73}	50.15
10	{6, 21, 22, 64, 2, 19, 20, 52, 54, 84, 47, 63, 7, 18, 40, 81, 82, 60, 1, 59, 8, 74, 65, 66, 13, 83, 11, 29, 41, 77, 79, 80, 78, 68, 9, 67, 69, 70, 75, 31, 49, 50, 55, 27, 48, 3, 4, 5, 46, 17, 14, 15, 16, 45, 58, 43}	50.1
11	{2, 7, 18, 19, 65, 20, 23, 24, 64, 66, 71, 72, 47, 84, 6, 54, 63, 13, 1, 36, 39, 3, 4, 5, 11, 46, 60, 75, 81, 82, 12, 78, 49, 50, 57, 83, 21, 22, 9, 25, 8, 79, 40, 52, 59, 41, 58, 74, 45, 70, 67, 68, 69, 43, 73, 80}	54.9
12	{60, 18, 49, 1, 7, 20, 36, 47, 67, 68, 69, 70, 8, 9, 48, 52, 31, 43, 63, 40, 77, 13, 65, 66, 75, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 2, 11, 50, 51, 56, 64, 33, 54, 74, 42, 76, 6, 72, 19, 29, 26, 27, 39, 41, 45, 46, 4, 59, 58, 22, 21, 62, 14, 15, 55, 24, 23, 25, 30}	61
13	{48, 18, 19, 47, 2, 84, 23, 63, 83, 45, 58, 67, 1, 8, 9, 20, 13, 54, 7, 40, 75, 65, 66, 82, 5, 3, 10, 29, 46, 62, 11, 55, 24, 70, 36, 56, 39, 43, 60, 41, 80, 78, 79, 81, 21, 22, 52, 68, 69, 64, 6, 31, 59, 72}	52.64
14	{60, 18, 19, 20, 48, 54, 47, 13, 84, 1, 40, 59, 33, 63, 2, 7, 26, 29, 81, 82, 56, 36, 39, 11, 31, 49, 41, 52, 46, 3, 50, 74, 68, 8, 9, 67, 69, 70, 4, 5, 65, 66, 76, 45, 78, 75, 77, 79, 80, 83, 21, 22, 6, 64}	56.96
15	{29, 60, 65, 66, 78, 79, 7, 1, 2, 8, 9, 40, 47, 54, 63, 75, 18, 41, 84, 59, 13, 67, 69, 80, 83, 52, 43, 20, 82, 81, 39, 64, 19, 77, 11, 24, 23}	35.65

16	{7, 47, 63, 81, 82, 20, 1, 18, 19, 40, 13, 58, 8, 9, 59, 60, 54, 84, 2, 11, 31, 68, 33, 70, 74, 83, 23, 24, 43, 22, 21, 36, 64, 39, 41, 52, 45, 78, 29, 80, 48, 55, 5, 3, 46, 71, 72, 77, 79, 75, 4}	51.73
17	{66, 1, 2, 47, 11, 40, 58, 80, 77, 78, 79, 81, 82, 83, 84, 54, 67, 70, 43, 20, 59, 52, 64, 18, 63, 45, 41, 19, 7, 13, 65, 36, 76, 49, 50, 60, 75, 17, 29, 62, 48, 42, 74, 8, 9, 68, 69, 22, 21, 39, 56, 26, 27, 5, 46}	50.2
18	{2, 63, 1, 13, 47, 67, 81, 83, 84, 11, 20, 78, 79, 82, 70, 41, 69, 18, 19, 65, 55, 74, 59, 7, 60, 31, 64, 40, 75, 54, 77, 80, 43, 66, 50, 36, 39, 49, 76, 22, 21, 23, 24, 8, 9, 52, 30, 71, 72, 45, 58, 6, 3, 46, 4, 5, 42}	60.22
19	{31, 1, 7, 76, 2, 8, 9, 20, 29, 63, 13, 75, 84, 21, 22, 47, 40, 54, 66, 65, 42, 83, 79, 81, 82, 23, 24, 60, 18, 19, 45, 74, 58, 64, 59, 70, 80, 41, 68, 11, 33, 78, 77, 12, 69, 48}	43.73
20	{30, 20, 63, 74, 47, 84, 65, 18, 19, 7, 13, 2, 1, 33, 43, 64, 60, 59, 72, 52, 21, 54, 40, 45, 4, 46, 11, 41, 58, 12, 36, 39, 75, 83, 73, 66, 69, 70, 81, 31, 82}	41.86
21	{18, 19, 24, 74, 84, 20, 1, 2, 47, 60, 54, 63, 21, 22, 8, 9, 64, 68, 41, 45, 70, 81, 82, 83, 48, 13, 11, 79, 80, 7, 65, 66, 43, 52, 59, 76, 78, 55, 58, 67, 40, 42, 31, 39, 36, 46, 27, 29, 14, 17, 3, 4, 5, 26, 72, 71}	55.65
22	{2, 65, 66, 84, 20, 40, 43, 18, 63, 64, 83, 52, 1, 7, 47, 45, 36, 39, 81, 34, 55, 13, 11, 49, 50, 82, 19, 54, 58, 60, 71, 80, 75, 79, 8, 9, 72, 59, 68, 69, 70, 77, 78, 76, 27, 29, 74, 21, 26, 33, 24, 67}	52.58
23	{47, 1, 2, 7, 45, 54, 70, 63, 64, 69, 80, 81, 82, 84, 18, 20, 40, 74, 11, 41, 73, 59, 67, 68, 75, 79, 83, 46, 60, 65, 13, 21, 22, 19, 66, 25, 9, 76, 78, 55, 8, 52, 58, 31, 71, 72, 36, 39, 49, 77, 50, 51, 48, 10, 24, 33, 23}	56.76
24	{60, 20, 18, 47, 19, 74, 41, 45, 58, 84, 2, 13, 1, 54, 80, 83, 63, 3, 5, 46, 81, 82, 64, 31, 33, 15, 17, 29, 7, 79, 40, 75, 23, 24, 71, 36, 39, 72, 69, 8, 67, 68, 70, 59, 66, 52, 65, 12, 55, 11, 14, 16, 9}	52.6
25	{20, 60, 63, 2, 47, 59, 79, 81, 82, 13, 66, 65, 7, 18, 19, 84, 1, 41, 43, 58, 21, 64, 55, 52, 78, 83, 77, 73, 12, 23, 24, 11, 8, 9, 67, 69, 70, 39, 36, 40, 54, 45, 75, 27, 29, 35, 68, 80, 49, 56, 50, 74}	51.46
26	{2, 13, 36, 39, 54, 65, 84, 7, 60, 78, 18, 19, 20, 79, 41, 45, 47, 58, 63, 40, 81, 82, 9, 67, 70, 66, 83, 56, 49, 50, 51, 1, 55, 69, 43, 29, 11, 59, 52, 23, 24, 74, 8, 68, 35, 73, 61, 26, 77, 75, 76, 80, 64}	52.34
27	{58, 2, 7, 8, 9, 18, 19, 20, 60, 63, 65, 84, 59, 30, 31, 13, 1, 47, 54, 74, 79, 80, 81, 82, 83, 67, 68, 69, 70, 66, 77, 78, 26, 27, 29, 52, 36, 40, 50, 55, 41, 23, 24, 45, 11, 49, 75, 64, 46, 21, 22, 15, 17, 6, 35, 38, 3, 4, 5}	51.55
28	{20, 63, 33, 81, 82, 83, 84, 2, 54, 13, 64, 65, 1, 21, 22, 47, 68, 69, 40, 60, 18, 19, 66, 8, 70, 9, 25, 59, 7, 31, 79, 80, 77, 78, 74, 58, 41, 57, 36, 39, 46, 29, 76, 11, 23, 24}	39.92
29	{63, 84, 1, 2, 83, 60, 7, 41, 47, 59, 75, 13, 18, 20, 69, 8, 9, 23, 68, 54, 21, 22, 64, 39, 62, 71, 40, 19, 37, 26, 27, 29, 34, 46, 70, 31, 65, 3, 5, 48, 11, 24, 42, 74, 52, 66, 72, 81, 82, 79, 80, 76, 55, 45, 4, 10}	57.74
30	{60, 2, 29, 59, 82, 84, 40, 47, 20, 8, 9, 65, 66, 67, 69, 1, 7, 13, 21, 54, 63, 18, 19, 26, 75, 77, 83, 76, 79, 41, 11, 38, 80, 81, 25, 73, 49, 50, 43, 68, 70, 36, 39, 51, 56, 64, 35, 22, 23, 24, 27, 55, 31, 74, 52, 58}	54.16
31	{60, 18, 20, 1, 13, 23, 24, 54, 7, 63, 81, 8, 9, 40, 64, 79, 80, 82, 83, 84, 65, 75, 77, 2, 47, 19, 50, 59, 33, 74, 66, 41, 45, 58, 52, 55, 3, 4,	52.14

	5, 46, 68, 70, 12, 29, 69, 21, 22, 43, 35, 36, 38, 39, 11, 51, 56, 67, 76}	
32	{63, 24, 64, 72, 84, 47, 59, 18, 19, 20, 54, 60, 55, 2, 6, 13, 21, 65, 66, 82, 79, 83, 42, 1, 8, 9, 70, 22, 62, 68, 40, 7, 29, 35, 38, 52, 81, 43, 36, 39, 45, 58, 11, 23, 56, 49, 50, 51, 77, 80, 17, 31, 74}	47.6
33	{63, 2, 60, 11, 39, 33, 36, 58, 1, 64, 7, 43, 54, 18, 13, 19, 20, 47, 59, 84, 72, 65, 66, 78, 83, 81, 45, 40, 49, 50, 68, 8, 9, 69, 70, 82, 77, 80, 4, 3, 5, 46, 79, 67, 23, 31, 76, 52, 74, 62, 35, 6}	49.9
34	{18, 19, 20, 63, 84, 43, 2, 7, 40, 59, 77, 82, 83, 23, 24, 1, 73, 75, 54, 47, 13, 64, 66, 74, 11, 60, 36, 50, 65, 78, 81, 21, 22, 8, 9, 70, 31, 49, 76, 79, 80, 15, 17, 16, 33, 42, 67, 69, 55, 44, 29}	40.7
35	{13, 81, 83, 84, 5, 46, 65, 18, 20, 47, 8, 9, 45, 67, 68, 70, 40, 22, 19, 21, 59, 66, 2, 7, 54, 63, 64, 82, 60, 74, 69, 11, 43, 1, 52, 72, 6, 41, 55, 58, 29, 75, 76, 16, 17, 36, 56, 35, 80, 79, 31, 73}	48.4
36	{60, 18, 19, 20, 8, 9, 21, 22, 1, 7, 40, 29, 35, 75, 59, 2, 74, 55, 48, 63, 84, 54, 65, 66, 47, 58, 15, 17, 45, 69, 31, 81, 82, 12, 25, 44, 67, 13, 64, 41, 52, 24, 83, 23, 43, 76, 79, 80, 11, 30, 70, 68, 50, 72, 28, 6, 38}	39.69
37	{1, 26, 29, 63, 13, 47, 59, 60, 58, 18, 20, 41, 45, 83, 23, 36, 39, 40, 75, 84, 7, 21, 22, 65, 66, 55, 81, 9, 8, 70, 2, 3, 46, 79, 19, 54, 62, 10, 74, 4, 5, 25, 6, 64, 82, 80, 31, 11, 68, 76, 78, 14, 15, 17, 73, 33, 77, 71, 67, 69}	53.04
38	{60, 18, 20, 19, 65, 84, 59, 2, 63, 1, 40, 13, 54, 64, 47, 22, 7, 66, 83, 3, 46, 55, 81, 82, 48, 23, 24, 77, 75, 78, 80, 8, 9, 31, 25, 79, 16, 17, 29, 74, 76, 71, 72, 58, 21, 11, 68, 35, 52, 67, 10, 62}	49.5
39	{63, 1, 59, 2, 20, 47, 54, 81, 82, 84, 13, 7, 18, 19, 36, 39, 40, 52, 60, 77, 78, 79, 83, 8, 9, 74, 49, 23, 69, 70, 64, 11, 65, 75, 43, 50, 66, 38, 26, 27, 29, 35, 68, 21, 22, 73, 6, 41, 45, 58, 28, 67}	52.34
40	{63, 2, 9, 22, 47, 60, 38, 65, 1, 59, 66, 74, 13, 80, 81, 83, 84, 40, 18, 20, 36, 39, 64, 67, 82, 7, 26, 71, 8, 69, 3, 68, 70, 29, 35, 79, 42, 43, 52, 49, 12, 11, 50, 73, 21, 33, 23, 54, 78, 27, 41, 45, 24, 14, 16, 62, 55, 75, 77, 58, 19, 76, 56}	55.4
41	{20, 1, 60, 18, 19, 59, 65, 2, 54, 69, 70, 79, 83, 84, 47, 63, 78, 80, 81, 82, 58, 8, 9, 41, 67, 68, 7, 30, 31, 40}	33.7
42	{1, 40, 65, 2, 13, 60, 63, 64, 20, 7, 19, 21, 22, 47, 58, 59, 74, 77, 80, 83, 84, 52, 54, 76, 18, 8, 9, 55, 73, 75, 30, 31, 11, 33, 66, 81, 82, 79, 68, 69, 70, 42, 41, 45, 15, 67, 46, 24, 78, 48}	42.74
43	{1, 2, 47, 60, 20, 54, 19, 84, 8, 9, 13, 58, 81, 21, 22, 18, 7, 29, 64, 63, 40, 11, 65, 66, 3, 4, 5, 46, 52, 55, 59, 31, 12, 24, 23, 74, 83, 79, 82, 48}	37.46
44	{18, 20, 63, 2, 7, 59, 60, 84, 19, 77, 78, 58, 81, 82, 54, 8, 9, 36, 1, 39, 40, 52, 75, 47, 45, 13, 21, 22, 23, 11, 41, 83, 15, 14, 16, 17, 43, 48, 42, 24, 64, 33, 74, 3, 4, 5, 46, 79, 65, 66, 68, 70}	46.65
45	{20, 59, 64, 18, 19, 23, 24, 40, 65, 66, 68, 63, 8, 9, 81, 83, 84, 11, 2, 52, 54, 7, 60, 13, 82, 55, 43, 47, 1, 36, 79, 80, 75}	35.64
46	{60, 18, 20, 19, 48, 14, 15, 41, 47, 52, 63, 64, 72, 81, 82, 84, 13, 29, 54, 83, 58, 1, 8, 9, 40, 75, 2, 74, 68, 70, 73, 55, 21, 22, 59, 65, 79, 66, 34, 37, 67, 69, 45, 42, 46, 7, 57, 33, 11, 3, 4, 5, 30, 31}	45.91
47	{60, 18, 20, 19, 84, 2, 1, 59, 11, 40, 54, 65, 66, 7, 8, 9, 13, 63, 64, 62, 68, 45, 47, 52, 74, 79, 83, 55, 41, 31, 82, 43, 21, 22, 23, 24, 29,	61.97

	76, 81, 69, 12, 10, 48, 25, 33, 71, 72, 75, 32, 3, 46, 58, 26, 4, 5, 70, 14, 15}	
48	{2, 59, 60, 29, 19, 20, 40, 63, 64, 74, 7, 26, 35, 47, 1, 84, 75, 80, 13, 42, 83, 43, 65, 66, 52, 8, 9, 70, 67, 21, 22, 62, 36, 69, 81, 82, 11, 54, 76, 33, 51, 48, 49, 50, 55, 45, 23, 24, 39, 41, 56, 58, 78, 10, 68, 79}	47.47
49	{1, 2, 7, 20, 54, 63, 64, 29, 8, 9, 19, 23, 40, 41, 52, 45, 59, 65, 66, 75, 79, 47, 60, 84, 81, 82, 13, 55, 11, 71, 72, 12, 58, 73, 68, 70, 49, 80, 83, 67, 69, 24, 21, 31, 78, 33, 36, 39}	42.27
50	{20, 2, 7, 13, 19, 40, 84, 63, 64, 83, 1, 70, 55, 47, 60, 43, 52, 59, 54, 66, 11, 22, 45, 49, 29, 36, 39, 50, 12, 6, 8, 9, 65, 68, 21, 74, 48, 81, 82, 77, 79, 80, 58, 31, 62, 67, 76, 41}	34.27
51	{63, 65, 66, 2, 60, 79, 84, 20, 54, 8, 9, 19, 59, 75, 6, 64, 68, 70, 77, 78, 81, 83, 7, 47, 13, 71, 72, 43, 76, 22, 1, 21, 23, 24, 36, 67, 82, 69, 12, 49, 40, 11, 39, 29, 50, 62, 73, 74, 25, 52, 27, 56, 42}	53.36
52	{9, 2, 6, 7, 8, 13, 20, 21, 22, 23, 40, 24, 36, 39, 47, 59, 49, 50, 52, 60, 62, 63, 75, 64, 68, 70, 77, 81, 82, 84, 1, 31, 54, 38, 3, 4, 10, 29, 46, 26, 43, 11, 48, 65, 66, 74, 83, 79, 35, 67, 69, 19, 55, 42, 33, 76, 73, 80, 58, 78, 41}	53.41
53	{22, 1, 2, 7, 13, 19, 20, 21, 47, 59, 81, 82, 84, 40, 49, 56, 63, 60, 35, 54, 58, 27, 9, 64, 68, 69, 70, 66, 83, 65, 78, 79, 80, 50, 11, 5, 3, 4, 29, 46, 43, 45, 8, 77, 36, 74, 16, 17, 72, 76, 75}	44.27
54	{13, 68, 41, 45, 47, 58, 70, 78, 81, 82, 83, 84, 8, 9, 19, 20, 7, 11, 23, 24, 29, 33, 43, 59, 60, 63, 75, 64, 2, 40, 67, 74, 69, 79, 80, 66, 65, 21, 76, 54, 1, 36, 39, 6, 38, 50, 71, 72, 31}	47.5
55	{47, 54, 63, 64, 84, 2, 81, 82, 7, 65, 66, 80, 78, 79, 83, 13, 8, 1, 23, 29, 40, 75, 20, 41, 59, 70, 9, 67, 68, 69, 21, 22, 45, 11, 77, 19, 60, 55, 72, 3, 5, 26, 34, 46, 58, 27, 48, 24, 43, 76, 18, 74, 38}	48.58
56	{2, 84, 50, 6, 20, 29, 43, 49, 59, 63, 65, 66, 81, 82, 13, 40, 1, 64, 60, 77, 83, 24, 23, 52, 8, 9, 47, 55, 70, 67, 68, 69, 33, 74, 78, 79, 11, 7, 76, 80, 19, 71, 72, 3, 5, 46, 61, 44, 54, 48, 21, 22, 73, 58, 45, 4, 75, 42}	54.16
57	{63, 1, 2, 19, 20, 47, 60, 64, 84, 81, 59, 78, 82, 83, 7, 54, 8, 9, 11, 13, 36, 39, 40, 49, 50, 65, 66, 68, 70, 75, 41, 45, 67, 69, 29, 43, 21, 52, 55, 80, 77, 79, 31, 76, 58, 73, 3, 5, 10, 46, 62, 6, 22, 4, 38, 30}	45.8
58	{7, 60, 65, 66, 81, 83, 84, 74, 78, 63, 1, 2, 41, 45, 47, 54, 36, 39, 55, 80, 79, 82, 19, 20, 46, 8, 9, 59, 49, 50, 70, 64, 68, 40, 13, 52, 11, 33, 43, 75, 73, 35, 29, 76, 58, 67, 69, 26, 24}	48.63
59	{47, 58, 59, 60, 76, 2, 45, 7, 13, 20, 40, 63, 79, 80, 84, 35, 38, 54, 72, 8, 9, 64, 67, 69, 70, 71, 83, 19, 1, 41, 68, 81, 82, 66, 65, 73, 29, 23, 24, 52, 61, 74, 43, 77, 21, 22, 55, 75, 31, 26, 33, 44, 11}	48.45
60	{1, 7, 29, 39, 50, 59, 63, 2, 19, 20, 64, 84, 12, 41, 52, 54, 73, 43, 8, 40, 45, 58, 47, 55, 65, 81, 66, 69, 70, 82, 9, 35, 38, 67, 68, 22, 77, 78, 79, 80, 83, 13, 33, 24, 48, 74, 60, 11, 26, 75, 62, 10, 57, 3, 4, 5, 46}	47.54
61	{63, 1, 2, 7, 22, 20, 84, 36, 39, 60, 79, 81, 82, 83, 64, 71, 72, 8, 9, 70, 59, 66, 69, 47, 40, 52, 54, 13, 31, 19, 65, 77, 3, 46, 58, 80, 5, 74, 41, 45, 55, 78, 49, 50, 67, 68, 44, 21, 43, 29, 56, 4, 75, 73, 11}	48.86
62	{22, 1, 2, 19, 20, 54, 82, 59, 63, 81, 40, 41, 47, 64, 83, 84, 76, 7, 8, 9, 45, 66, 65, 67, 68, 69, 77, 70, 75, 78, 79, 80, 36, 39, 11, 23, 13, 60, 46, 29, 26, 21, 24, 73, 52, 56, 74, 55, 48}	48.15

63	{2, 36, 39, 40, 83, 84, 1, 8, 9, 52, 59, 60, 63, 79, 81, 82, 64, 31, 47, 7, 20, 54, 76, 80, 45, 13, 21, 22, 73, 68, 19, 41, 69, 70, 65, 66, 77, 78, 11, 17, 23, 3, 4, 5, 46, 24, 74, 43, 27, 29, 48, 26, 67, 75, 33}	49.98
64	{11, 2, 1, 59, 60, 63, 64, 83, 75, 79, 80, 81, 82, 84, 8, 9, 47, 49, 50, 13, 20, 7, 3, 5, 46, 52, 42, 21, 22, 40, 74, 19, 58, 65, 29, 54, 36, 66, 6, 26, 38, 67, 68, 69, 70, 24, 55, 45, 78, 43, 39, 61, 56}	53.2
65	{52, 18, 19, 20, 54, 33, 48, 74, 2, 59, 63, 7, 83, 84, 11, 40, 58, 60, 64, 47, 13, 82, 67, 68, 69, 70, 66, 6, 1, 42, 80, 79, 81, 65, 8, 9, 41, 30, 78, 5, 3, 34, 37, 46, 36, 39, 29, 49, 50, 43, 76, 55, 75, 45}	44.49
66	{18, 65, 66, 20, 1, 2, 19, 59, 41, 47, 54, 60, 74, 7, 84, 52, 63, 13, 6, 40, 8, 9, 64, 79, 23, 24, 50, 21, 22, 51, 49, 11, 75, 43, 81, 26, 69, 70, 77, 82, 39, 29, 36, 72, 12, 35, 38}	49.77
67	{18, 19, 20, 63, 1, 11, 39, 50, 79, 47, 54, 59, 60, 64, 80, 81, 82, 84, 13, 83, 2, 43, 55, 78, 3, 4, 5, 46, 12, 74, 8, 9, 70, 65, 66, 73, 62, 49, 36, 7, 41, 45, 58, 35, 38, 52, 67, 68, 69, 27, 22, 21, 40, 57, 10, 29, 61, 24, 23}	60.63
68	{8, 9, 54, 67, 68, 69, 70, 7, 20, 18, 19, 63, 64, 84, 1, 2, 59, 60, 13, 79, 81, 82, 83, 49, 47, 3, 4, 46, 65, 66, 35, 38, 52, 74, 36, 39, 41, 50, 55, 75, 11, 56, 78, 77, 21, 22, 23, 40, 29, 42, 76, 73, 43, 5, 80, 24, 45, 58, 62, 30}	62.38
69	{60, 59, 18, 20, 83, 2, 11, 80, 81, 84, 7, 19, 54, 63, 65, 66, 1, 41, 47, 58, 82, 74, 8, 9, 45, 3, 4, 26, 35, 38, 46, 13, 40, 39, 36, 64, 23, 24, 33, 52, 55, 21, 29, 22, 70, 75}	45.16
70	{2, 11, 60, 1, 47, 63, 64, 48, 7, 20, 80, 8, 9, 52, 54, 70, 71, 72, 78, 79, 81, 82, 83, 18, 65, 66, 73, 22, 84, 21, 69, 77, 36, 39, 51, 56, 19, 67, 68, 13, 12, 59, 43, 46, 74, 55, 75, 62, 10, 23, 24, 29, 25, 40, 76, 6, 49, 50, 35, 41, 45}	60.49
71	{40, 63, 65, 66, 2, 8, 9, 67, 68, 69, 70, 11, 54, 83, 59, 84, 19, 20, 18, 1, 7, 56, 36, 39, 50, 47, 21, 22, 60, 82, 13, 55, 75, 81, 23, 24, 49, 64, 71, 72, 43, 33, 29, 76}	39.88
72	{60, 20, 59, 48, 18, 84, 40, 63, 2, 7, 13, 83, 1, 19, 54, 24, 47, 25, 3, 4, 5, 46, 77, 80, 82, 81, 58, 65, 66, 64, 79, 75, 78, 21, 22, 52, 11, 45, 8, 9, 41, 67, 68, 69, 70, 42, 29, 33, 55, 23, 62, 73, 74}	40.96
73	{47, 54, 1, 2, 7, 84, 63, 65, 66, 6, 83, 78, 79, 80, 81, 82, 20, 40, 11, 13, 60, 58, 59, 68, 70, 19, 43, 64, 75, 18, 8, 46, 3, 4, 5, 41, 29, 9, 45, 55, 23, 22}	36.68
74	{18, 19, 63, 64, 65, 1, 2, 66, 84, 40, 46, 54, 11, 59, 23, 24, 60, 47, 52, 80, 77, 78, 79, 81, 82, 83, 3, 4, 5, 20, 7, 38, 13, 41, 58, 68, 70, 9, 25, 8, 49, 50, 67, 76, 71, 72, 75, 29, 34, 37}	43.66
75	{78, 18, 19, 20, 54, 74, 79, 84, 81, 82, 83, 1, 8, 9, 26, 27, 67, 29, 35, 68, 69, 70, 13, 63, 7, 2, 47, 12, 38, 65, 73, 60, 21, 22, 59, 43, 52, 76, 64, 66, 80, 36, 49, 24, 11, 55, 40, 58, 50, 41, 72, 3, 4, 5, 46, 75, 45}	51.22
76	{19, 1, 2, 18, 20, 40, 54, 64, 13, 63, 38, 47, 60, 84, 78, 79, 80, 83, 69, 8, 9, 55, 67, 68, 70, 6, 59, 82, 7, 58, 24, 52, 74, 73, 53, 32, 35, 29, 42, 65, 66, 17, 30, 21, 22, 48, 76, 81, 11, 41, 45, 77, 15, 33, 75, 4, 3, 26, 5, 27, 37, 46, 23}	56.42
77	{7, 20, 13, 18, 19, 33, 54, 64, 60, 81, 77, 78, 79, 83, 84, 2, 69, 67, 82, 47, 75, 59, 63, 1, 58, 40, 36, 39, 23, 73, 21, 22, 74, 41, 8, 9, 66, 65, 80, 6, 29, 12, 35, 5, 46, 48, 16, 24, 55, 42, 14, 17, 30, 45, 68, 70, 76, 32, 52, 49, 50, 11, 38, 62}	60.55

78	{65, 47, 84, 1, 13, 63, 35, 38, 18, 20, 41, 58, 83, 77, 79, 80, 60, 2, 19, 54, 7, 23, 24, 11, 33, 59, 66, 46, 4, 74, 12, 25, 21, 8, 9, 45, 75, 81, 82, 3, 5, 36, 39, 78, 40, 68, 69, 29, 70}	49.08
79	{63, 84, 11, 13, 23, 40, 2, 36, 64, 54, 20, 1, 7, 60, 68, 21, 22, 48, 67, 69, 70, 47, 18, 29, 83, 59, 12, 82, 45, 58, 73, 3, 46, 19, 41, 8, 9, 65, 66, 42, 74, 62, 4, 5, 32, 43, 81, 79, 6}	48.12
80	{20, 48, 54, 8, 9, 19, 18, 47, 59, 84, 60, 74, 82, 1, 83, 65, 2, 45, 58, 68, 70, 66, 13, 7, 81, 63, 21, 22, 52, 64, 23, 30, 11, 72, 75, 35, 79, 40, 62, 71, 41, 55, 69, 29, 76, 42, 80, 33, 73}	43.41
81	{84, 1, 59, 60, 9, 2, 8, 13, 18, 22, 19, 20, 21, 41, 47, 64, 71, 72, 54, 74, 81, 7, 40, 33, 42, 63, 73, 12, 82, 69, 23, 24, 29, 68, 70, 79, 80, 83, 65, 66, 36, 39, 49, 50, 11, 48, 43, 76, 3, 46, 45, 5, 78, 26, 27, 4, 52, 67, 6, 77, 25, 55, 62, 58}	64.18
82	{13, 20, 54, 65, 66, 84, 1, 2, 7, 24, 47, 75, 33, 59, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 18, 19, 21, 22, 60, 8, 63, 70, 46, 3, 5, 30, 55, 11, 35, 29, 74, 9, 4, 62, 41, 14, 15, 16, 68, 67, 77, 40, 12, 45, 6, 64, 23, 72, 58, 34, 37, 17, 52}	47.83

Fuente: Elaboración propia, 2021

4.2 Distancia del recorrido con heurística

La tabla 4.2 muestra el orden y la distancia de recorrido al realizar el picking con la implementación de la heurística planteada, en la primera columna se muestra la orden de pedido atendida, la columna picking heurística detalla el recorrido por realizar y en las dos últimas columnas se especifica la distancia de recorrido.

Tabla 4.2 Distancia de recorrido Picking con heurística

ORDEN FACTURA	PICKING HEURISTICA	DISTANCIA ACTUAL (m)
1	{1, 7, 83, 54, 46, 82, 24, 21, 6, 70, 78, 9, 13, 19, 72, 2, 58, 11, 66, 49, 22, 64, 20, 79, 77, 80, 76, 43, 48, 41, 63, 47, 60, 27, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 84, 59, 39, 71}	8.93
2	{1, 7, 83, 54, 82, 78, 74, 13, 19, 72, 2, 58, 11, 66, 49, 64, 33, 20, 79, 80, 48, 43, 41, 81, 63, 47, 60, 65, 50, 31, 8, 75, 40, 69, 18, 52, 59, 84, 71}	7.63
3	{1, 7, 51, 83, 54, 82, 21, 70, 78, 9, 74, 12, 13, 19, 55, 68, 2, 11, 66, 49, 22, 33, 64, 20, 67, 80, 76, 43, 73, 81, 63, 47, 56, 60, 65, 50, 8, 75, 36, 40, 69, 18, 52, 84, 59, 39}	4.21
4	{1, 7, 26, 83, 54, 82, 46, 21, 6, 70, 78, 74, 9, 5, 13, 19, 55, 68, 2, 58, 11, 66, 49, 22, 64, 3, 20, 79, 77, 67, 76, 80, 43, 29, 41, 81, 63, 37, 47, 60, 34, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 59, 84, 39}	4.21
5	{1, 7, 83, 54, 14, 42, 82, 46, 21, 70, 78, 9, 74, 13, 19, 55, 72, 2, 58, 44, 66, 11, 22, 64, 20, 79, 67, 76, 77, 80, 29, 16, 41, 17, 73, 81, 62, 63, 47, 60, 65, 31, 8, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 84, 59, 39, 71}	8.93

6	{1, 7, 83, 54, 42, 82, 24, 21, 70, 78, 9, 12, 13, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 44, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 20, 79, 80, 67, 43, 29, 41, 73, 81, 63, 47, 56, 60, 27, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 84, 59, 39, 71}	8.93
7	{1, 7, 26, 54, 14, 24, 82, 21, 6, 9, 13, 30, 19, 55, 72, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 33, 20, 79, 76, 80, 15, 29, 41, 81, 63, 47, 60, 27, 65, 50, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 18, 84, 59, 39, 71}	8.93
8	{1, 7, 26, 83, 54, 14, 42, 82, 24, 21, 6, 78, 74, 9, 13, 19, 55, 2, 66, 11, 23, 22, 64, 20, 79, 80, 67, 77, 76, 43, 15, 16, 41, 17, 81, 63, 47, 60, 65, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 84, 59, 39}	4.21
9	{1, 7, 83, 54, 82, 46, 24, 21, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 30, 19, 55, 68, 58, 2, 66, 11, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 80, 67, 76, 77, 43, 15, 29, 41, 17, 73, 81, 62, 63, 37, 47, 60, 65, 31, 8, 75, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59}	3.56
10	{1, 7, 83, 54, 14, 82, 46, 21, 6, 70, 78, 74, 9, 5, 13, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 22, 64, 3, 20, 79, 77, 80, 67, 48, 43, 15, 29, 16, 41, 17, 81, 63, 47, 60, 27, 65, 50, 31, 8, 75, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59}	3.56
11	{1, 7, 83, 54, 24, 46, 82, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 5, 12, 13, 25, 19, 72, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 67, 80, 43, 41, 73, 81, 63, 47, 60, 57, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59, 39, 71}	8.93
12	{1, 7, 51, 26, 83, 54, 14, 42, 82, 46, 24, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 13, 25, 30, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 33, 20, 79, 67, 77, 80, 76, 48, 43, 15, 29, 41, 81, 62, 63, 47, 56, 60, 27, 65, 50, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59, 39}	4.21
13	{1, 7, 83, 54, 82, 46, 24, 21, 6, 70, 78, 9, 5, 13, 10, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 66, 11, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 67, 80, 48, 43, 29, 41, 62, 81, 63, 47, 56, 60, 65, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 84, 59, 39}	4.21
14	{1, 7, 26, 83, 54, 82, 46, 21, 6, 70, 78, 74, 9, 5, 13, 19, 68, 2, 11, 66, 49, 22, 33, 64, 3, 20, 79, 67, 76, 77, 80, 48, 29, 41, 81, 63, 47, 56, 60, 65, 50, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59, 39}	4.21
15	{1, 7, 83, 54, 82, 24, 78, 9, 13, 19, 2, 66, 11, 23, 64, 20, 79, 67, 80, 77, 43, 29, 41, 81, 63, 47, 60, 65, 8, 75, 40, 69, 18, 52, 84, 59, 39}	4.21
16	{1, 7, 83, 54, 82, 24, 46, 21, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 19, 55, 68, 72, 58, 2, 11, 23, 22, 33, 64, 3, 20, 79, 80, 77, 43, 48, 29, 41, 81, 63, 47, 60, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 18, 52, 59, 84, 39, 71}	8.93
17	{1, 7, 26, 83, 54, 42, 82, 46, 21, 70, 78, 74, 9, 5, 13, 19, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 22, 64, 20, 79, 80, 77, 67, 76, 43, 48, 29, 41, 17, 81, 62, 63, 47, 56, 60, 27, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 84, 59, 39}	4.21
18	{1, 7, 83, 54, 42, 82, 24, 46, 21, 6, 70, 78, 74, 9, 5, 13, 30, 19, 55, 72, 2, 58, 11, 66, 49, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 67, 77, 80, 76, 43, 41, 81, 63, 47, 60, 65, 50, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59, 39, 71}	8.93
19	{1, 7, 83, 54, 42, 82, 24, 21, 70, 78, 9, 74, 12, 13, 19, 68, 2, 58, 66, 11, 23, 22, 64, 33, 20, 79, 76, 80, 77, 48, 29, 41, 81, 63, 47, 60, 65, 31, 8, 75, 45, 40, 69, 18, 84, 59}	3.56
20	{1, 7, 83, 54, 46, 82, 21, 70, 74, 12, 13, 30, 19, 72, 2, 58, 11, 66, 33, 64, 20, 43, 41, 73, 81, 63, 47, 60, 65, 31, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59, 39}	4.21
21	{1, 7, 26, 83, 54, 14, 42, 24, 82, 46, 21, 70, 78, 74, 9, 5, 13, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 11, 66, 22, 64, 3, 20, 79, 80, 76, 67, 48, 43, 29, 41,	8.93

	17, 81, 63, 47, 60, 27, 65, 31, 8, 36, 45, 40, 4, 18, 52, 84, 59, 39, 71}	
22	{1, 7, 26, 83, 54, 82, 24, 21, 70, 78, 9, 74, 13, 19, 55, 72, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 64, 33, 20, 79, 80, 77, 76, 67, 43, 29, 81, 63, 47, 60, 27, 34, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 84, 59, 39, 71}	8.93
23	{1, 7, 51, 83, 54, 82, 46, 24, 21, 70, 78, 74, 9, 13, 25, 10, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 11, 66, 49, 23, 22, 64, 33, 20, 79, 80, 67, 76, 77, 48, 41, 73, 81, 63, 47, 60, 65, 50, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 84, 59, 39, 71}	8.93
24	{1, 7, 83, 54, 14, 46, 82, 24, 70, 74, 9, 5, 12, 13, 19, 55, 72, 68, 58, 2, 66, 11, 23, 64, 33, 3, 20, 79, 80, 67, 15, 29, 16, 41, 17, 81, 63, 47, 60, 65, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 84, 59, 39, 71}	8.93
25	{1, 7, 83, 54, 82, 24, 21, 70, 78, 9, 74, 12, 13, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 64, 20, 79, 77, 67, 80, 43, 29, 41, 73, 81, 63, 47, 35, 56, 60, 27, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 59, 84, 39}	4.21
26	{1, 7, 51, 26, 83, 54, 82, 24, 70, 78, 9, 74, 13, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 64, 20, 79, 67, 77, 76, 80, 43, 29, 41, 73, 81, 63, 47, 56, 35, 60, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 84, 59, 61, 39}	4.21
27	{1, 7, 26, 83, 54, 38, 82, 24, 46, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 30, 19, 55, 68, 58, 2, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 80, 67, 77, 15, 29, 41, 17, 81, 63, 47, 35, 60, 27, 65, 50, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59}	3.56
28	{1, 7, 83, 54, 82, 46, 24, 21, 70, 78, 9, 74, 13, 25, 19, 68, 2, 58, 66, 11, 23, 22, 33, 64, 20, 79, 80, 77, 76, 29, 41, 81, 63, 47, 60, 57, 65, 31, 8, 36, 40, 69, 18, 84, 59, 39}	4.21
29	{1, 7, 26, 83, 54, 42, 46, 24, 82, 21, 70, 9, 74, 5, 13, 10, 19, 55, 68, 72, 2, 11, 66, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 80, 76, 48, 29, 41, 62, 81, 63, 37, 47, 60, 27, 34, 65, 31, 8, 75, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59, 39, 71}	8.93
30	{1, 7, 51, 26, 83, 54, 38, 82, 24, 21, 70, 9, 74, 13, 25, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 20, 79, 67, 77, 76, 80, 43, 29, 41, 73, 81, 63, 47, 56, 35, 60, 27, 65, 50, 31, 8, 75, 36, 40, 69, 18, 52, 59, 84, 39}	4.21
31	{1, 7, 51, 83, 54, 38, 24, 82, 46, 21, 70, 9, 74, 5, 12, 13, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 23, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 80, 77, 67, 76, 43, 29, 41, 81, 63, 47, 35, 56, 60, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59, 39}	4.21
32	{1, 7, 51, 83, 54, 42, 38, 24, 82, 21, 6, 70, 9, 74, 13, 19, 55, 72, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 20, 79, 77, 80, 43, 29, 17, 62, 81, 63, 47, 35, 56, 60, 65, 50, 31, 8, 36, 45, 40, 18, 52, 84, 59, 39}	4.21
33	{1, 7, 83, 54, 82, 46, 6, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 19, 72, 68, 2, 58, 11, 66, 49, 23, 33, 64, 3, 20, 79, 77, 80, 67, 76, 43, 81, 62, 63, 47, 35, 60, 65, 50, 31, 8, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 59, 84, 39}	4.21
34	{1, 7, 83, 54, 42, 82, 24, 21, 70, 78, 74, 9, 13, 19, 55, 2, 44, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 33, 20, 79, 77, 76, 80, 67, 43, 15, 29, 16, 17, 73, 81, 63, 47, 60, 65, 50, 31, 8, 75, 36, 40, 69, 18, 84, 59}	3.56
35	{1, 7, 83, 54, 46, 82, 21, 6, 70, 9, 74, 5, 13, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 66, 11, 22, 64, 20, 79, 67, 76, 80, 43, 29, 16, 41, 17, 73, 81, 63, 47, 56, 35, 60, 65, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 84, 59}	3.56
36	{1, 7, 83, 54, 38, 82, 24, 21, 6, 70, 9, 74, 12, 13, 25, 30, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 44, 66, 11, 23, 22, 64, 20, 79, 67, 76, 80, 48, 43, 15, 29,	3.56

	41, 17, 81, 63, 47, 35, 60, 65, 28, 50, 31, 8, 75, 45, 40, 69, 18, 52, 59, 84}	
37	{1, 7, 26, 83, 54, 14, 46, 82, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 25, 10, 19, 55, 68, 58, 2, 66, 11, 23, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 80, 76, 77, 67, 15, 29, 41, 17, 73, 81, 62, 63, 47, 60, 65, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 59, 84, 39, 71}	8.93
38	{1, 7, 83, 54, 46, 82, 24, 21, 78, 9, 74, 13, 25, 10, 19, 55, 72, 68, 2, 58, 66, 11, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 77, 80, 76, 67, 48, 29, 16, 17, 81, 62, 63, 47, 35, 60, 65, 31, 8, 75, 40, 18, 52, 84, 59, 71}	7.63
39	{1, 7, 26, 83, 54, 38, 82, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 13, 19, 68, 2, 58, 11, 66, 49, 23, 22, 64, 20, 79, 77, 67, 43, 29, 41, 73, 81, 63, 47, 35, 60, 27, 65, 28, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 59, 84, 39}	4.21
40	{1, 7, 26, 83, 54, 14, 42, 38, 82, 24, 21, 70, 78, 9, 74, 12, 13, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 80, 67, 77, 76, 43, 29, 16, 41, 73, 81, 62, 63, 47, 35, 56, 60, 27, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 59, 84, 39, 71}	8.93
41	{1, 7, 83, 54, 82, 70, 78, 9, 30, 19, 68, 2, 58, 20, 79, 80, 67, 41, 81, 63, 47, 60, 65, 31, 8, 40, 69, 18, 59, 84}	3.56
42	{1, 7, 83, 54, 42, 82, 46, 24, 21, 70, 78, 74, 9, 13, 30, 19, 55, 68, 2, 58, 11, 66, 22, 64, 33, 20, 79, 77, 80, 76, 67, 48, 15, 41, 73, 81, 63, 47, 60, 65, 31, 8, 75, 45, 40, 69, 18, 52, 59, 84}	3.56
43	{1, 7, 83, 54, 46, 24, 82, 21, 9, 74, 5, 12, 13, 19, 55, 2, 58, 11, 66, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 48, 29, 81, 63, 47, 60, 65, 31, 8, 40, 4, 18, 52, 84, 59}	3.56
44	{1, 7, 83, 54, 14, 42, 82, 24, 46, 21, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 19, 68, 2, 58, 11, 66, 23, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 77, 43, 48, 15, 16, 41, 17, 81, 63, 47, 60, 65, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 18, 52, 59, 84, 39}	4.21
45	{1, 7, 83, 54, 24, 82, 9, 13, 19, 55, 68, 2, 66, 11, 23, 64, 20, 79, 80, 43, 81, 63, 47, 60, 65, 8, 75, 36, 40, 18, 52, 59, 84}	3.56
46	{1, 7, 83, 54, 14, 42, 82, 46, 21, 70, 9, 74, 5, 13, 30, 19, 55, 72, 68, 58, 2, 66, 11, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 67, 48, 15, 29, 41, 73, 81, 63, 37, 47, 60, 57, 34, 65, 31, 8, 75, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59}	3.56
47	{1, 7, 26, 83, 54, 14, 82, 24, 46, 21, 70, 9, 74, 5, 12, 13, 25, 10, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 11, 66, 23, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 76, 43, 48, 15, 29, 41, 62, 81, 63, 47, 60, 65, 31, 8, 75, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 32, 84, 59, 71}	7.63
48	{1, 7, 51, 26, 83, 54, 42, 82, 24, 21, 70, 78, 74, 9, 13, 10, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 33, 20, 79, 80, 67, 76, 43, 48, 29, 41, 62, 81, 63, 47, 35, 56, 60, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 52, 59, 84, 39}	4.21
49	{1, 7, 83, 54, 82, 24, 21, 70, 78, 9, 12, 13, 19, 55, 72, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 64, 33, 20, 79, 80, 67, 29, 41, 73, 81, 63, 47, 60, 65, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 52, 59, 84, 39, 71}	8.93
50	{1, 7, 83, 54, 82, 21, 6, 70, 9, 74, 12, 13, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 22, 64, 20, 79, 77, 80, 67, 76, 43, 48, 29, 41, 81, 62, 63, 47, 60, 65, 50, 31, 8, 36, 45, 40, 52, 84, 59, 39}	4.21
51	{1, 7, 83, 54, 42, 24, 82, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 12, 13, 25, 19, 68, 72, 2, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 20, 79, 77, 76, 67, 43, 29, 73, 81, 62, 63, 47, 56, 60, 27, 65, 50, 8, 75, 36, 40, 69, 52, 84, 59, 39, 71}	8.93
52	{1, 7, 26, 83, 54, 42, 38, 24, 82, 46, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 13, 10, 19, 55, 68, 2, 58, 11, 66, 49, 23, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 77, 67, 76, 80,	4.21

	43, 48, 29, 41, 73, 62, 81, 63, 47, 35, 60, 65, 50, 31, 8, 75, 36, 40, 4, 69, 52, 59, 84, 39}	
53	{1, 7, 83, 54, 82, 46, 21, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 19, 68, 72, 2, 58, 66, 11, 49, 22, 64, 3, 20, 79, 80, 77, 76, 43, 29, 16, 17, 81, 63, 47, 56, 35, 60, 27, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 59, 84}	3.56
54	{1, 7, 83, 54, 38, 82, 24, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 13, 19, 68, 72, 58, 2, 11, 66, 23, 33, 64, 20, 79, 67, 80, 76, 43, 29, 41, 81, 63, 47, 60, 65, 50, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 84, 59, 39, 71}	8.93
55	{1, 7, 26, 83, 54, 38, 82, 46, 24, 21, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 66, 11, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 80, 67, 77, 76, 48, 43, 29, 41, 81, 63, 47, 60, 27, 34, 65, 8, 75, 45, 40, 69, 18, 84, 59}	3.56
56	{1, 7, 83, 54, 42, 82, 24, 46, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 44, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 77, 67, 76, 80, 43, 48, 29, 73, 81, 63, 47, 60, 65, 50, 8, 75, 45, 40, 4, 69, 52, 84, 59, 61, 71}	8.39
57	{1, 7, 83, 54, 38, 82, 46, 21, 6, 70, 78, 9, 5, 13, 10, 30, 19, 55, 68, 2, 58, 11, 66, 49, 22, 64, 3, 20, 79, 67, 80, 77, 76, 43, 29, 41, 73, 81, 62, 63, 47, 60, 65, 50, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 52, 84, 59, 39}	4.21
58	{1, 7, 26, 83, 54, 82, 46, 24, 70, 78, 74, 9, 13, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 64, 33, 20, 79, 80, 76, 67, 43, 29, 41, 73, 81, 63, 47, 35, 60, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 52, 84, 59, 39}	4.21
59	{1, 7, 26, 83, 54, 38, 82, 24, 21, 70, 9, 74, 13, 19, 55, 72, 68, 58, 2, 44, 66, 11, 23, 22, 64, 33, 20, 79, 76, 80, 67, 77, 43, 29, 41, 73, 81, 63, 47, 35, 60, 65, 31, 8, 75, 45, 40, 69, 52, 59, 84, 61, 71}	8.39
60	{1, 7, 26, 83, 54, 38, 82, 24, 46, 70, 78, 9, 74, 5, 12, 13, 10, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 67, 77, 80, 43, 48, 29, 41, 73, 81, 62, 63, 47, 35, 60, 57, 65, 50, 8, 75, 45, 40, 4, 69, 52, 59, 84, 39}	4.21
61	{1, 7, 83, 54, 82, 46, 21, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 19, 55, 72, 68, 2, 58, 44, 66, 11, 49, 22, 64, 3, 20, 79, 77, 80, 67, 43, 29, 41, 73, 81, 63, 47, 56, 60, 65, 50, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 52, 84, 59, 39, 71}	8.93
62	{1, 7, 26, 83, 54, 82, 46, 24, 21, 70, 78, 9, 74, 13, 19, 55, 68, 2, 66, 11, 23, 22, 64, 20, 79, 76, 67, 77, 80, 48, 29, 41, 73, 81, 63, 47, 56, 60, 65, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 52, 59, 84, 39}	4.21
63	{1, 7, 26, 83, 54, 82, 46, 24, 21, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 19, 68, 2, 66, 11, 23, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 76, 80, 77, 67, 43, 48, 29, 41, 17, 73, 81, 63, 47, 60, 27, 65, 31, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 52, 84, 59, 39}	4.21
64	{1, 7, 26, 83, 54, 42, 38, 82, 46, 24, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 19, 55, 68, 2, 58, 11, 66, 49, 22, 64, 3, 20, 79, 80, 67, 43, 29, 81, 63, 47, 56, 60, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 52, 59, 84, 61, 39}	4.21
65	{1, 7, 83, 54, 42, 82, 46, 6, 70, 78, 74, 9, 5, 13, 30, 19, 55, 68, 2, 58, 11, 66, 49, 33, 64, 3, 20, 79, 67, 80, 76, 48, 43, 29, 41, 81, 63, 37, 47, 60, 34, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 59, 84, 39}	4.21
66	{1, 7, 51, 26, 54, 38, 24, 82, 21, 6, 70, 74, 9, 12, 13, 19, 72, 2, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 20, 79, 77, 43, 29, 41, 81, 63, 47, 35, 60, 65, 50, 8, 75, 36, 40, 69, 18, 52, 59, 84, 39}	4.21
67	{1, 7, 83, 54, 38, 82, 46, 24, 21, 70, 78, 74, 9, 5, 12, 13, 10, 19, 55, 68, 2, 58, 11, 66, 49, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 80, 67, 43, 29, 41, 73, 81, 62, 63, 47, 35, 60, 27, 57, 65, 50, 8, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 59, 84, 61, 39}	4.21

68	{1, 7, 83, 54, 42, 38, 82, 46, 24, 21, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 30, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 67, 77, 76, 80, 43, 29, 41, 73, 81, 62, 63, 47, 35, 56, 60, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59, 39}	4.21
69	{1, 7, 26, 83, 54, 38, 82, 46, 24, 21, 70, 74, 9, 13, 19, 55, 2, 58, 11, 66, 23, 22, 64, 33, 3, 20, 80, 29, 41, 81, 63, 47, 35, 60, 65, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 18, 52, 59, 84, 39}	4.21
70	{1, 7, 51, 83, 54, 82, 46, 24, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 12, 13, 25, 10, 19, 55, 72, 68, 2, 11, 66, 49, 23, 22, 64, 20, 79, 80, 77, 67, 76, 48, 43, 29, 41, 73, 81, 62, 63, 47, 56, 35, 60, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 84, 59, 39, 71}	8.93
71	{1, 7, 83, 54, 82, 24, 21, 70, 9, 13, 19, 55, 68, 72, 2, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 33, 20, 67, 76, 43, 29, 81, 63, 47, 56, 60, 65, 50, 8, 75, 36, 40, 69, 18, 59, 84, 39, 71}	8.93
72	{1, 7, 83, 54, 42, 24, 46, 82, 21, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 25, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 23, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 77, 80, 67, 48, 29, 41, 73, 81, 62, 63, 47, 60, 65, 8, 75, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 59, 84}	3.56
73	{1, 7, 83, 54, 82, 46, 6, 70, 78, 9, 5, 13, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 80, 43, 29, 41, 81, 63, 47, 60, 65, 8, 75, 45, 40, 4, 18, 84, 59}	3.56
74	{1, 7, 83, 54, 38, 46, 24, 82, 70, 78, 9, 5, 13, 25, 19, 68, 72, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 64, 3, 20, 79, 80, 77, 67, 76, 29, 41, 81, 63, 37, 47, 60, 34, 65, 50, 8, 75, 40, 4, 18, 52, 84, 59, 71}	7.63
75	{1, 7, 26, 83, 54, 38, 82, 24, 46, 21, 70, 78, 74, 9, 5, 12, 13, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 66, 11, 49, 22, 64, 3, 20, 79, 67, 76, 80, 43, 29, 41, 73, 81, 63, 47, 35, 60, 27, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59}	3.56
76	{1, 7, 26, 83, 54, 42, 38, 82, 24, 46, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 5, 13, 30, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 23, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 80, 67, 76, 77, 48, 15, 29, 41, 17, 73, 81, 63, 37, 47, 35, 60, 27, 65, 8, 75, 53, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 32, 84, 59}	3.56
77	{1, 7, 83, 54, 14, 42, 38, 82, 46, 24, 21, 6, 70, 78, 74, 9, 5, 12, 13, 30, 19, 55, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 22, 33, 64, 20, 79, 77, 67, 80, 76, 48, 29, 16, 41, 17, 73, 81, 62, 63, 47, 35, 60, 65, 50, 8, 75, 36, 45, 40, 69, 18, 52, 32, 84, 59, 39}	4.21
78	{1, 7, 83, 54, 38, 24, 46, 82, 21, 70, 78, 74, 9, 5, 12, 13, 25, 19, 68, 58, 2, 11, 66, 23, 33, 3, 20, 79, 77, 80, 29, 41, 81, 63, 47, 35, 60, 65, 8, 75, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 84, 59, 39}	4.21
79	{1, 7, 83, 54, 42, 82, 46, 21, 6, 70, 9, 74, 5, 12, 13, 19, 68, 2, 58, 11, 66, 23, 22, 64, 3, 20, 79, 67, 48, 43, 29, 41, 73, 62, 81, 63, 47, 60, 65, 8, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 32, 84, 59}	3.56
80	{1, 7, 83, 54, 42, 82, 21, 70, 9, 74, 13, 30, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 66, 11, 23, 22, 64, 33, 20, 79, 76, 80, 48, 29, 41, 73, 81, 62, 63, 47, 35, 60, 65, 8, 75, 45, 40, 69, 18, 52, 59, 84, 71}	7.63
81	{1, 7, 26, 83, 54, 42, 82, 24, 46, 21, 6, 70, 78, 9, 74, 5, 12, 13, 25, 19, 55, 72, 68, 2, 58, 66, 11, 49, 23, 22, 64, 33, 3, 20, 79, 80, 76, 67, 77, 48, 43, 29, 41, 73, 81, 62, 63, 47, 60, 27, 65, 50, 8, 36, 45, 40, 4, 69, 18, 52, 84, 59, 39, 71}	8.93
82	{1, 7, 83, 54, 14, 24, 82, 46, 21, 6, 70, 78, 74, 9, 5, 12, 13, 30, 19, 55, 68, 72, 2, 58, 66, 11, 23, 22, 33, 64, 3, 20, 79, 80, 67, 77, 15,	3.56

29, 16, 41, 17, 81, 62, 63, 37, 47, 35, 60, 34, 65, 8, 75, 45, 40, 4, 18, 52, 84, 59}

Fuente: Elaboración propia, 2021

4.3 Picking actual versus picking con heurística

A continuación, en las tablas 4.3 y 4.4 se muestra la disminución y ahorro obtenido con la aplicación de la heurística planteada para la distancia de recorrido del picking.

Tabla 4.3 Distancia de picking con recorrido óptimo

ORDEN FACTURA	DISTANCIA ACTUAL (m)	DISTANCIA HEURISTICA (m)	DISMINUCIÓN (m)	AHORRO (%)
1	45.1	8.93	36.17	80%
2	40.08	7.63	32.45	81%
3	44.11	4.21	39.9	90%
4	52.82	4.21	48.61	92%
5	53.2	8.93	44.27	83%
6	50.27	8.93	41.34	82%
7	41.59	8.93	32.66	79%
8	51.3	4.21	47.09	92%
9	50.15	3.56	46.59	93%
10	50.1	3.56	46.54	93%
11	54.9	8.93	45.97	84%
12	61	4.21	56.79	93%
13	52.64	4.21	48.43	92%
14	56.96	4.21	52.75	93%
15	35.65	4.21	31.44	88%
16	51.73	8.93	42.8	83%
17	50.2	4.21	45.99	92%
18	60.22	8.93	51.29	85%
19	43.73	3.56	40.17	92%
20	41.86	4.21	37.65	90%
21	55.65	8.93	46.72	84%
22	52.58	8.93	43.65	83%
23	56.76	8.93	47.83	84%
24	52.6	8.93	43.67	83%
25	51.46	4.21	47.25	92%
26	52.34	4.21	48.13	92%
27	51.55	3.56	47.99	93%
28	39.92	4.21	35.71	89%
29	57.74	8.93	48.81	85%
30	54.16	4.21	49.95	92%

31	52.14	4.21	47.93	92%
32	47.6	4.21	43.39	91%
33	49.9	4.21	45.69	92%
34	40.7	3.56	37.14	91%
35	48.4	3.56	44.84	93%
36	39.69	3.56	36.13	91%
37	53.04	8.93	44.11	83%
38	49.5	7.63	41.87	85%
39	52.34	4.21	48.13	92%
40	55.4	8.93	46.47	84%
41	33.7	3.56	30.14	89%
42	42.74	3.56	39.18	92%
43	37.46	3.56	33.9	90%
44	46.65	4.21	42.44	91%
45	35.64	3.56	32.08	90%
46	45.91	3.56	42.35	92%
47	61.97	7.63	54.34	88%
48	47.47	4.21	43.26	91%
49	42.27	8.93	33.34	79%
50	34.27	4.21	30.06	88%
51	53.36	8.93	44.43	83%
52	53.41	4.21	49.2	92%
53	44.27	3.56	40.71	92%
54	47.5	8.93	38.57	81%
55	48.58	3.56	45.02	93%
56	54.16	8.39	45.77	85%
57	45.8	4.21	41.59	91%
58	48.63	4.21	44.42	91%
59	48.45	8.39	40.06	83%
60	47.54	4.21	43.33	91%
61	48.86	8.93	39.93	82%
62	48.15	4.21	43.94	91%
63	49.98	4.21	45.77	92%
64	53.2	4.21	48.99	92%
65	44.49	4.21	40.28	91%
66	49.77	4.21	45.56	92%
67	60.63	4.21	56.42	93%
68	62.38	4.21	58.17	93%
69	45.16	4.21	40.95	91%
70	60.49	8.93	51.56	85%
71	39.88	8.93	30.95	78%
72	40.96	3.56	37.4	91%
73	36.68	3.56	33.12	90%
74	43.66	7.63	36.03	83%
75	51.22	3.56	47.66	93%
76	56.42	3.56	52.86	94%

77	60.55	4.21	56.34	93%
78	49.08	4.21	44.87	91%
79	48.12	3.56	44.56	93%
80	43.41	7.63	35.78	82%
81	64.18	8.93	55.25	86%
82	47.83	3.56	44.27	93%

Fuente: Elaboración propia, 2021

Como se puede evidenciar, al realizar el picking con el recorrido óptimo proporcionado por la heurística planteada, la distancia del recorrido del picking disminuyen, lo cual significa que el algoritmo propuesto si cumple con el objetivo formulado de minimizar la distancia recorrida durante la preparación del pedido, es decir, se consiguen los resultados esperados.

Sin embargo, aunque se genera un ahorro promedio del 85% en la distancia del picking, es importante mencionar que al aplicar la heurística, los resultados de estas variables son prácticamente los mismos para todas las facturas porque los ítems son agrupados por zona en función de las coordenadas de ubicación, por ende, en cada zonificación de transporte se escoge al menos un producto por zona, logrando que el recorrido óptimo se repita en cada factura u orden de pedido ya que finalmente todas las zonas son visitadas.

Con los resultados obtenidos, se puede obtener un impacto positivo para la empresa en cuanto a la disminución de costos operativos, ya que, al disminuir la distancia del recorrido del picking, posiblemente incremente la cantidad de facturas u órdenes de pedidos atendidos por día, lo cual proporciona un gran beneficio económico para la compañía.

Finalmente, con el orden del picking propuesto por el algoritmo se logra disminuir la distancia del recorrido también optimizar el sistema de almacenamiento FIFO dentro de la bodega, obteniendo mayor rotación del inventario y una mejor capacidad de respuesta para el cumplimiento de los pedidos y satisfacción del cliente.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El proceso de picking está contemplado como una de las áreas dentro de la gestión de almacenes que requiere de estrategias óptimas para reducir los costos de almacenamiento. La problemática identificada en este proyecto indica que la bodega de estudio presenta ineficiencia con la optimización de las operaciones del picking, específicamente con la agrupación de pedidos en lotes y la definición de la ruta del picker.

Por tanto, para intentar resolver este problema se propone aplicar una heurística que permita obtener soluciones óptimas para el recorrido del picking, adicional, se analiza la posibilidad de que muestre gráficamente la ruta a seguir por el picker.

La heurística planteada proporciona una ventaja competitiva con respecto al recorrido por realizar durante el proceso de picking, puesto que, se enfoca en consolidar y sectorizar los pedidos por ítems y por área para que sea óptimo al igual que los niveles de inventario, lo cual facilita su control y revisión para disminuir o evitar la caducidad de los ítems.

Esto permite realizar la operación de manera eficiente para obtener un ahorro en horas extras y en los costos de stand by. Una vez desarrollada la heurística se puede concluir lo siguiente:

- La distancia recorrida para realizar el picking dentro de la bodega disminuiría por lo menos en un 85%.
- El nivel de servicio tanto para clientes externos como internos aumentará.
- La optimización del inventario será lograda gracias a la correcta aplicación de la metodología FIFO.
- El aumento en la capacidad de respuesta del área de logística y abastecimiento permitirá incrementar la satisfacción del cliente.

5.2 Recomendaciones

Luego de analizar la implementación de la heurística planteada para mejorar el proceso de picking dentro de la bodega, se recomienda lo siguiente:

- Elaborar indicadores de desempeño que permitan evaluar la efectividad del proceso.
- Diseñar una guía para los auxiliares de bodega de manera que la puedan utilizar para realizar el picking de forma correcta.
- Capacitar al personal responsable para la aplicación del algoritmo.
- Reubicar los ítems en función del índice de rotación para disminuir aún más el recorrido del picking.
- Implementar herramientas y equipos de apoyo para la recolección de pedidos.
- Medir el desempeño del personal en función del tiempo de picking y de la cantidad de facturas atendidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Arango, M., Zapata, J., & Pemberthy, J. (2010). Reestructuración del layout de la zona de picking en una bodega industrial. *Revista de Ingeniería*, 54-61.
- Ballesteros, P., & Escobar, A. (2016). Revisión del estado del arte del problema de ruteo de vehículos con recogida y entrega (VRPPD). *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo Vol 34, No 2, 20*.
- Ballesteros Silva, P. P., & Escobar Zuluaga, A. H. (2016). Revisión del estado del arte del problema de ruteo de vehículos con recogida y entrega (VRPPD). *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo Vol 34, No 2, 20*.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la Cadena de Suministro. 5ta Edición*. México: Pearson Educación.
- Benito Quintanilla, A. (2015). *Problemas de rutas de vehículos: modelos, aplicaciones logísticas y métodos de resolución*. Valladolid.
- Benito, A. (2015). *Problemas de rutas de vehículos: modelos, aplicaciones logísticas y métodos de resolución*. Valladolid.
- Bustos Rosales, A., & Jiménez Sánchez, E. (24 de 03 de 2014). *E LOGISTICA REVISTA*. Obtenido de <http://www.logisticamx.enfasis.com/articulos/69225-modelos-un-mejor-ruteo-vehicular>
- Bustos Rosales, A., & Jiménez Sánchez, E. (24 de 03 de 2014). *Modelos para un mejor ruteo vehicular*. Obtenido de <http://www.logisticamx.enfasis.com/articulos/69225-modelos-un-mejor-ruteo-vehicular>
- Bustos, A., & Jiménez, E. (24 de 03 de 2014). Obtenido de Modelos para un mejor ruteo vehicular: <https://es.scribd.com/document/379404302/Modelos-Para-Un-Mejor-Ruteo-Vehicular>
- Cabrera, A. (2014). *Propuestas de mejora en los procesos logísticos de un centro de distribución de una empresa de tiendas de conveniencias mediante el uso de técnicas de simulación*. Tesis de pregrado, Universidad Católica Andrés Bello, Escuela de Ingeniería Industrial, Caracas. Recuperado el 21 de enero de 2021, de

- http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS8399_VOL1.pdf
- Carro, P., & González, D. (12 de agosto de 2013). *Núlan*. Obtenido de Núlan: http://nulan.mdp.edu.ar/1830/1/gestion_stock.pdf
- Castillo, G. (29 de mayo de 2006). *UDLA*. Obtenido de UDLA: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmnf/castillo_g_ka/capitulo1.pdf
- Caviedes, C., & González, J. (2016). *Diseño de la distribución física de la bodega de producto terminado en la empresa: «Arrocera la Esmeralda S.A.S.» para mejorar la capacidad de almacenamiento*. Cali.
- Coque, C. M. (2015). *Formulación y solución del problema de ruteo vehicular capacitados con ventanas de tiempo (CVRPTW) mediante el uso del algoritmo de ahorros en una empresa de telecomunicaciones*. Obtenido de trabajo final : MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/30507>
- Correa, A., Gómez, R., & Cano, J. (2010). Gestión de almacenes y tecnologías de la información y comunicación (TIC). *Estudios Gerenciales*, 145-171.
- Daza, J. M., Montoya, J. R., & Narducci, F. (2009). *Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 12*, 23-38.
- Elbert, R. (2016). Increasing capacity utilization of shuttle trains in intermodal transport by investing in transshipment technologies for non-cranable semi-trailers. *Winter Simulation Conference 2016*. Washington, DC.
- Estrada, J., Cardona, Y., & Castro, L. (2011). *Implementación del Proceso de Picking en la Empresa Compulens y Llanes Ltda*. Bogotá.
- Freile, A., & Gutierrez, J. (2015). *Disminución del tiempo de preparación de órdenes para despacho de un centro nacional de distribución de productos de consumo masivo*. Guayaquil: ESPOL.
- García Anduiza, J. (2018). *Gestión de la cadena de suministro: análisis del uso de las TIC y su impacto en la eficiencia*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Madrid. Recuperado el 21 de enero de 2021, de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/46224/1/T39544.pdf>

- Gaviño, G., Casarrubias, H., & Chávez, M. (2020). ANÁLISIS DE TÉCNICAS FORMALES EN OPERACIONES DE PEDIDO EN UN CEDIS 3PL DE PRODUCTOS TERMINADOS. *REVISTA INVESTIGACION OPERACIONAL*, 326-343.
- Glover, F., & Laguna, M. (1997). *Tabu Search*. Colorado: Springer Science+Business Media.
- Golden, B. L. (2008). *THE VEHICLE ROUTING PROBLEM: LATEST ADVANCES AND NEW CHALLENGES*. New York: Springer.
- González La Rotta, E. C., González Y., O., & Becerra F., M. (14 de Febrero de 2015). "Estado del arte del problema de ruteo de vehículos con componentes estocásticos". Obtenido de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/327354559_Estado_del_arte_d_el_problema_de_ruteo_de_vehiculos_con_componentes_estocasticos
- González, L., González, Y., & Becerra, M. (14 de Febrero de 2015). "Estado del arte del problema de ruteo de vehículos con componentes estocásticos". Obtenido de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/327354559_Estado_del_arte_d_el_problema_de_ruteo_de_vehiculos_con_componentes_estocasticos
- Guamantica, V. (2013). *DISEÑO DEL MODELO DE CANTIDAD ECONÓMICA DE PEDIDO (EOQ) DEL INVENTARIO DE LA EMPRESA GENERAL MOTORS DEL ECUADOR*. Quito: UTE.
- Guillen , J., & Valdivieso, G. (2017). "Rediseño del proceso de ruteo y programación de vehículos en una empresa de manufactura". Obtenido de Trabajo final previo a la obtención del título: Ingeniero Industrial: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41617>
- Guillen Chica, J. E., & Valdivieso Brito, G. U. (2017). "Rediseño del proceso de ruteo y programación de vehículos en una empresa de manufactura". Obtenido de Trabajo final previo a la obtención del título: Ingeniero Industrial: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41617>
- Hermosilla, A., & Barán, B. (2001). Comparación de un sistema de colonias de hormigas y una estrategia evolutiva para un Problema Multiobjetivo de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo.

- Hsu, C.-M., Chen, K.-Y., & Chen, M.-C. (2005). Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms. *Computers in Industry*, 169-178.
- Lozada , A., & Cadena, R. (2012). Solución del Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW) mediante Métodos Heurísticos . 77-96.
- McGraw Hill Education. (21 de noviembre de 2017). *www.mheducation.es*.
Obtenido de *www.mheducation.es*:
<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448199278.pdf>
- Miranda, A., & Albarracín, F. (2013). *Diseño e implementación de un modelo de gestión de control de inventario y despacho. Aplicación a una industria plástica división calzado*. Guayaquil: ESPOL.
- Olivera, A. (2004). *Heurísticas para el Problema de Ruteo de Vehículos*. Montevideo: Uruguay.
- Otero, R., Bolívar, S., & Rincón, N. (2016). *Comparación a través del picking en tienda de dos alternativas de entrega en un entorno de servicio a domicilio en supermercados. Área temática: logística en ciudad**. Bogotá: Javeriana.
- Paolo Toth, D. V. (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications, Second Edition*. SIAM.
- Pascual Montero, B. (2019). *Modelado y resolución del problema de rutas de preparación de pedidos*. Tesis Maestral, Universidad de Sevilla, Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas II, Sevilla. Recuperado el 21 de enero de 2021
- Peña, E., & Forero, E. (2012). *Modelo de simulación del proceso de almacenamiento y distribución en la bodega de la distribuidora de papel de la empresa Muebles y Accesorios S.A., para el mejoramiento de su sistema de inventarios*. Bogotá.
- Pérez, R. (12 de Octubre de 2020). *www.lifeder.com*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/distancia-euclidiana/>
- Riojas Cañari, A. C. (2005). Conceptos, algoritmo y aplicación al problema de las N – reinas.

- Rocha, L. B., González La Rota, E. C., & Orjuela Castro, J. A. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. págs. 49 - 50.
- Rodríguez Hernández, F. J. (2015). *MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE LA APERTURA DE UN NUEVO CENTRO DE DISTRIBUCIÓN*. Tesis Maestral, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Nuevo León. Recuperado el 21 de enero de 2021, de <http://eprints.uanl.mx/14081/1/1080237819.pdf>
- Rojas, G. (20 de mayo de 2005). *Arranque del centenario de distribución para almacenes Gacía. Estudio de Caso. Capítulo IV: Almacenes funciones y tipos*. México.
- Sánchez, A. (13 de diciembre de 2019). Modelos de Picking, Routing, Layout y Slotting en la Gestión de Almacenes - una Revisión Sistemática de la Literatura. Barranquillo, Atlántico, Colombia.
- Sandoya, F. (2015). *Metaheurísticas y redes neuronales*. Guayaquil: Espol.
- SAP Hanna, T. V. (2019).
- Solomon, M. M. (Marzo-Abril de 1987). *Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints*. *Operations Research*, 35(2), 254-265. <http://www.jstor.org/stable/170697>. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/170697>
- Távora, C. (2014). *MEJORA DEL SISTEMA DE ALMACEN PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN LOGÍSTICA DE LA EMPRESA COMERCIAL PIURA*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura, Facultad de Ingeniería Industrial, Piura. Recuperado el 23 de enero de 2021, de <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/700/IND-TAV-INF-14.pdf?sequence=1>
- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications, Second Edition*. SIAM.
- Vallecilla, C., & Torres, A. (2017). *Propuesta de mejoramiento de la recolección de pedidos por medio de métodos heurísticos en un almacén de repuestos de una empresa agroindustrial en el norte del Valle del Cauca*. Zarzal: Universidad del Valle.
- Velázquez, L. (2012). *Elaboración de una cédula como instrumento de gestión de inventario*. México, D.F.: FES.

Vélez Calle, L. (2016). *Modelamiento eficiente de la preparación de pedidos en un almacén usando un metaheurístico de Búsqueda Tabú*. Tesis Maestral, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería de la Organización, Medellín. Recuperado el 21 de enero de 2021, de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59762/1152188721.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

WALPACK. (20 de marzo de 2021). *WALPACK Pallets & Packaging*. Obtenido de WALPACK Pallets & Packaging: <https://www.walpack.cl/productos.php>

ANEXOS

ANEXO A: CLASIFICACIÓN ABC

Material	Descripción	Total Venta	Tipo	%	Acum	Tipo
BA000030	Material BA000030	\$ 19,991.16	Bebidas	12%	12%	A
BA000073	Material BA000073	\$ 15,116.52	Bebidas	9%	21%	A
BA000128	Material BA000128	\$ 12,206.25	Bebidas	7%	28%	A
BA007469	Material BA007469	\$ 11,541.58	Bebidas	7%	35%	A
BA013085	Material BA013085	\$ 9,767.62	Bebidas	6%	41%	A
BA000009	Material BA000009	\$ 9,021.00	Bebidas	5%	47%	A
BA007154	Material BA007154	\$ 8,086.10	Bebidas	5%	52%	A
BA005102	Material BA005102	\$ 5,515.06	Bebidas	3%	55%	A
BA005946	Material BA005946	\$ 4,881.63	Bebidas	3%	58%	A
BA000558	Material BA000558	\$ 4,119.31	Bebidas	2%	60%	A
BA000215	Material BA000215	\$ 4,071.71	Bebidas	2%	63%	A
BA007153	Material BA007153	\$ 3,516.73	Bebidas	2%	65%	A
BA011032	Material BA011032	\$ 3,381.04	Bebidas	2%	67%	A
BA000210	Material BA000210	\$ 3,157.39	Bebidas	2%	69%	A
BA001470	Material BA001470	\$ 3,092.74	Bebidas	2%	71%	A
BA000786	Material BA000786	\$ 2,350.75	Bebidas	1%	72%	A
BA005692	Material BA005692	\$ 2,256.13	Bebidas	1%	73%	A
BA012769	Material BA012769	\$ 1,851.32	Bebidas	1%	74%	A
BA000086	Material BA000086	\$ 1,832.01	Bebidas	1%	76%	A
BA000212	Material BA000212	\$ 1,778.49	Bebidas	1%	77%	A
BA000087	Material BA000087	\$ 1,653.71	Bebidas	1%	78%	A
BA000798	Material BA000798	\$ 1,530.00	Bebidas	1%	79%	A
BA005730	Material BA005730	\$ 1,510.76	Bebidas	1%	79%	A
BA013083	Material BA013083	\$ 1,278.20	Bebidas	1%	80%	A
BA004441	Material BA004441	\$ 1,275.56	Bebidas	1%	81%	B
BA011052	Material BA011052	\$ 1,149.24	Bebidas	1%	82%	B
BA013082	Material BA013082	\$ 1,118.03	Bebidas	1%	82%	B
BA012539	Material BA012539	\$ 1,073.28	Bebidas	1%	83%	B
BA000213	Material BA000213	\$ 1,069.89	Bebidas	1%	84%	B
BA011048	Material BA011048	\$ 1,064.01	Bebidas	1%	84%	B
BA005702	Material BA005702	\$ 1,061.50	Bebidas	1%	85%	B
BA000557	Material BA000557	\$ 999.63	Bebidas	1%	86%	B
BA005703	Material BA005703	\$ 992.25	Bebidas	1%	86%	B
BA011683	Material BA011683	\$ 963.22	Bebidas	1%	87%	B
BA000058	Material BA000058	\$ 962.67	Bebidas	1%	87%	B
BA012540	Material BA012540	\$ 931.21	Bebidas	1%	88%	B
BA013084	Material BA013084	\$ 924.66	Bebidas	1%	88%	B
BA005964	Material BA005964	\$ 897.43	Bebidas	1%	89%	B
BA003666	Material BA003666	\$ 862.18	Bebidas	1%	89%	B
BA003089	Material BA003089	\$ 848.75	Bebidas	1%	90%	B
BA000225	Material BA000225	\$ 829.97	Bebidas	0%	90%	B
BA007136	Material BA007136	\$ 803.53	Bebidas	0%	91%	B
BA000224	Material BA000224	\$ 787.79	Bebidas	0%	91%	B
BA011679	Material BA011679	\$ 756.50	Bebidas	0%	92%	B
BA012748	Material BA012748	\$ 704.82	Bebidas	0%	92%	B

BA011576	Material BA011576	\$ 645.12	Bebidas	0%	93%	B
BA013076	Material BA013076	\$ 638.06	Bebidas	0%	93%	B
BA001730	Material BA001730	\$ 626.51	Bebidas	0%	93%	B
BA011681	Material BA011681	\$ 624.64	Bebidas	0%	94%	B
BA000034	Material BA000034	\$ 616.51	Bebidas	0%	94%	B
BA004273	Material BA004273	\$ 546.55	Bebidas	0%	94%	B
BA013077	Material BA013077	\$ 542.77	Bebidas	0%	95%	B
BA011721	Material BA011721	\$ 517.35	Bebidas	0%	95%	B
BA000038	Material BA000038	\$ 509.67	Bebidas	0%	95%	B
BA013080	Material BA013080	\$ 497.53	Bebidas	0%	96%	C
BA012541	Material BA012541	\$ 476.35	Bebidas	0%	96%	C
BA000266	Material BA000266	\$ 441.09	Bebidas	0%	96%	C
BA007467	Material BA007467	\$ 430.88	Bebidas	0%	97%	C
BA000035	Material BA000035	\$ 409.53	Bebidas	0%	97%	C
BA006400	Material BA006400	\$ 384.55	Bebidas	0%	97%	C
BA005969	Material BA005969	\$ 376.00	Bebidas	0%	97%	C
BA013081	Material BA013081	\$ 354.87	Bebidas	0%	97%	C
BA000231	Material BA000231	\$ 348.00	Bebidas	0%	98%	C
BA000230	Material BA000230	\$ 334.11	Bebidas	0%	98%	C
BA012538	Material BA012538	\$ 332.36	Bebidas	0%	98%	C
BA011043	Material BA011043	\$ 311.84	Bebidas	0%	98%	C
BA013078	Material BA013078	\$ 298.58	Bebidas	0%	98%	C
BA000261	Material BA000261	\$ 291.43	Bebidas	0%	99%	C
BA007155	Material BA007155	\$ 283.02	Bebidas	0%	99%	C
BA013079	Material BA013079	\$ 282.75	Bebidas	0%	99%	C
BA012751	Material BA012751	\$ 270.66	Bebidas	0%	99%	C
BA000262	Material BA000262	\$ 261.44	Bebidas	0%	99%	C
BA000126	Material BA000126	\$ 258.75	Bebidas	0%	99%	C
BA000095	Material BA000095	\$ 174.80	Bebidas	0%	100%	C
BA012542	Material BA012542	\$ 163.67	Bebidas	0%	100%	C
BA000674	Material BA000674	\$ 136.00	Bebidas	0%	100%	C
BA003959	Material BA003959	\$ 130.23	Bebidas	0%	100%	C
BA000240	Material BA000240	\$ 115.00	Bebidas	0%	100%	C
BA000165	Material BA000165	\$ 112.71	Bebidas	0%	100%	C
BA005715	Material BA005715	\$ 108.25	Bebidas	0%	100%	C

Algoritmo Optimizacion Picking CEDIS CBS

Importacion Datos

```
In[1]=  
BD = Import["C:\\Users\\Paolo\\Desktop\\PICKING\\INPUTS_FAC_03_05_2021.xlsx"];  
      |Importa |constante  
i = 1;  
datos = {};  
datos = Table[BD[[1, i]], {i, Length[BD[[1]]}];  
      |tabla |longitud  
datos;
```

Creacion de Algoritmo Data Transformacion Factura e Items

```
In[6]=  
j = 1;  
k = 1;  
DPicking = {};  
OPicking = {};  
Timing[While[j ≤ Length[datos],  
|crono- |mientras |longitud  
k = 1;  
a = datos[[j]][[1]];  
DPicking = {};  
DPicking = AppendTo[DPicking, a];  
      |añade al final  
While[k ≤ Length[datos],  
|mientras |longitud  
b = datos[[k]][[1]];  
  
If[a == b, DPicking = AppendTo[DPicking, Round[datos[[k, 9]]]];  
|si |añade al final |entero más próximo  
; k++];  
OPicking = AppendTo[OPicking, DPicking];  
      |añade al final  
j++];]
```

```
Out[-]= {2335.53, Null}
```

```
In[-]=
```

```

OPicking;
OPicking = DeleteDuplicatesBy[OPicking, Total];
           [elimina repeticiones por] [total]

i = 1; While[i ≤ Length[OPicking],
           [mientras] [longitud]
OPicking[[i]] = Delete[OPicking[[i]], 1];
           [elimina]
OPicking[[i]] = DeleteCases[OPicking[[i]], ""];
           [elimina casos]

OPicking[[i]] = DeleteDuplicates[OPicking[[i]];
           [elimina repeticiones]

i++;];

In[ ]:= Export["OPicking3.xlsx", OPicking]
           [exporta]
Out[ ]:= OPicking3.xlsx

```

Creacion de Algoritmo Data Insercion de Coordenadas Items

```

In[ ]:=
coord = Import["C:\\Users\\Paolo\\Desktop\\PICKING\\INPUTS_FAC_04_05_2021.xlsx"];
           [importa] [constante]
coord = Import["C:\\Users\\Paolo\\Desktop\\Libro1.xlsx"];
           [importa] [constante]
coord = coord[[1]];

In[ ]:= coordA = Table[Delete[coord[[i]], 1], {i, Length[coord]}];
           [tabla] [elimina] [longitud]

n = Length[coord]
           [longitud]
d = Table[N[ManhattanDistance[coordA[[i]], coordA[[j]]], {i, 2, n}, {j, 2, n}];
           [tabla] [distancia Manhattan]
TableForm[d, TableHeadings → {Range[n], Range[n]}];
           [forma de tabla] [cabeceras de tabla] [rango] [rango]
long[d_, x_] := Sum[d[[x[[i]], x[[i + 1]]], {i, 1, Length[x] - 1}];
           [suma] [longitud]

Out[ ]:= 84

```

Creacion de Algoritmo Picking Minimo Recorrido por Item

```
in/.j= i = 1;  
      j = 1;  
      u = 1;  
      k = 1;  
      w = 1;  
      RPicking = {};  
      FPicking = {};  
      elena = Length[OPicking];  
              [longitud  
eleccion = {};  
  
TimeConstrained[While[w ≤ elena,  
[con duración limitada [mientras  
  (*Print[OPicking[[w]];*)  
  [escribe  
  noselec = OPicking[[w];  
  
  tour = {1};  
  longitud = 0;
```

```

k = 1;
n = Length[noselec];
    |longitud
i = 1;

While[Length[tour] < n,
    |mient... |longitud

    (*Print[noselec[[1]]];*)
        |escribe

    distr = Table[d[[k, i]], {i, noselec}];
        |tabla
    (*Distancia desde el nodo último ruteado a los no seleccionados*)

    mi = Min[distr];
        |mínimo

    drcl = Flatten[Select[distr, # <= mi &, 1]];
        |aplana |selecciona
    drcl = drcl[[1]];
    (*drcl=DeleteDuplicates[drcl];*)
        |elimina repeticiones

    a = FirstPosition[distr, drcl];
        |primera posición
    a = a[[1]];
    (*Print["Posicion_Asignada:", a];*)
        |escribe

    rcl = noselec[[a]];
    k2 = rcl;

    (*Print["Itesm_Asignado:", k2];*)
        |escribe
    longitud = longitud + d[[k, k2]];
    AppendTo[tour, k2];
    |añade al final

    k2 = Round[k2];
        |entero más próximo
    a = Round[a];
        |entero más próximo

    noselec = DeleteCases[noselec, k2];
        |elimina casos

```



```

k = k2;
(*AppendTo[tour,1];*)
  [añade al final

(*longitud=longitud+d[[k,1]];*)

mejortour = tour];
mejortour = Delete[mejortour, 1];
  [elimina

(*Print[tour];*)
  [escribe
FPicking = AppendTo[FPicking, mejortour];
  [añade al final
w++], 800]

in[-]=
long[d_, x_] := Sum[d[[x[[i]], x[[i + 1]]], {i, 1, Length[x] - 1}];
  [suma [longitud

Resultados = {};
o = 2;
While[o ≤ Length[FPicking],
  [mientras [longitud
  oo = long[d, FPicking[[o]]];
  o = o + 1;

  Resultados = AppendTo[Resultados, oo]
    [añade al final

];

Export["DFPicking.xlsx", Resultados]
  [exporta

in[-]= ResultadosOrigen = {};
o = 2;
While[o ≤ Length[OPicking],
  [mientras [longitud
  oo = long[d, OPicking[[o]]];
  o = o + 1;

  ResultadosOrigen = AppendTo[ResultadosOrigen, oo];
    [añade al final

];

Export["DOPicking.xlsx", ResultadosOrigen]
  [exporta

```

In[-]:

```
AnaBelen = {};  
AnaBelen = AppendTo[AnaBelen, OPicking];  
           |añade al final  
AnaBelen = AppendTo[AnaBelen, FPicking];  
           |añade al final  
AnaBelen = AppendTo[AnaBelen, Resultados];  
           |añade al final  
AnaBelen = AppendTo[AnaBelen, ResultadosOrigen];  
           |añade al final  
Export["AnaBelen.xlsx", AnaBelen]  
      |exporta
```

Out[-]: AnaBelen.xlsx