

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Ciencias Naturales y Matemáticas

**“DISEÑO DE UN APLICATIVO PARA EL ALMACENAMIENTO
DE CARGA EN LOS CAMIONES PARA EL TRANSPORTE EN
UNA EMPRESA DE ALIMENTOS Y BEBIDAS.”**

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del título de:

Ingeniero(a) en Logística y Transporte

Presentado por:

José Andrés Reyna Vallejo

Emily Abigail Gordillo Vega

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

Dedicatoria.

Este trabajo representa más que un logro académico; es el resultado de años de esfuerzo, dedicación y aprendizaje, y no podría haberlo alcanzado sin el apoyo inquebrantable de mi familia. Ustedes son el pilar fundamental en mi vida, el viento bajo mis alas y mi fuente de inspiración constante. Les agradezco por creer en mí, por celebrar mis éxitos y por estar a mi lado en cada paso de esta emocionante travesía académica. Sin su amor y apoyo, este logro no sería posible.

José Andrés Reyna Vallejo

Dedicatoria

Este logro, aunque lleva mi nombre, es el reflejo de años de amor, sacrificio y apoyo que me ha brindado mi familia. A mi padre, Cesar Gordillo, por ser el pilar de fortaleza y enseñarme que con perseverancia todo es posible. A mi madre, Sonña Vega, por envolverme con su cariño y mostrarme que incluso en los días más grises, hay un refugio de amor. A mi tía Jenny Vega, cuyas palabras y guía han esculpido mi camino. Y a mi hermano, cuya alegría incesante y apoyo han sido la chispa en mis días.

Este triunfo académico es un testimonio de que el amor y el respaldo de una familia pueden mover montañas. Aunque estas palabras nunca podrán expresar completamente mi gratitud, espero que sepan que cada logro mío lleva impreso el corazón de ustedes.

Emily Abigail Gordillo Vega

Agradecimiento

Con gratitud en mi corazón, deseo expresar mi agradecimiento a Dios, en primer lugar, por brindarme la fortaleza, la determinación y la sabiduría necesarias para completar esta etapa de mi vida académica. Su guía y protección han sido fundamentales en cada paso de mi camino.

En segundo lugar, quiero extender un agradecimiento especial a mi compañera de tesis, cuyo apoyo inquebrantable ha sido un faro en los días de estudio intenso y en los momentos de desafío. Juntos hemos compartido conocimientos, superado obstáculos y celebrado nuestros logros, y estoy profundamente agradecido por tenerla a mi lado.

En tercer lugar, mi reconocimiento al profesor Msc. Carlos Ronquillo Franco, cuya orientación y apoyo en nuestra formación académica han sido invaluable. Su experiencia y sabiduría compartida han enriquecido nuestro aprendizaje y han sido un faro de inspiración en nuestro camino.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi amigo Aldo por su constante apoyo y amistad durante mi travesía académica. Sus palabras de aliento, compañía en los estudios y sabiduría compartida fueron esenciales en mi éxito. Su lealtad y amistad han hecho que cada día sea significativo. Este logro lleva parte de su influencia y aprecio.

Finalmente, agradezco a la tutora, a la Ing. Mishelle Cordero, por su dedicación y ayuda en la realización de este trabajo. Su guía y asesoramiento han sido esenciales para llevar a cabo este proyecto con éxito. Además, agradezco profundamente al Ing. Daniel Parrales, nuestro mentor asignado por la empresa, por su invaluable guía y apoyo durante el desarrollo de nuestro trabajo. Su experiencia ha sido esencial en cada fase de este proyecto.

José Andrés Reyna Vallejo

Agradecimiento

Ante todo, quiero comenzar agradeciendo profundamente a Dios. Es en Él donde encontré la fortaleza para superar los desafíos, y es por Su gracia que he podido culminar esta aventura académica.

Mi siguiente agradecimiento es para Andrés Reyna, mi compañero de tesis. Su inquebrantable perseverancia, valentía y determinación han sido inspiradoras, sobre todo en los momentos más inciertos. Ha sido un honor recorrer este camino académico junto a alguien tan comprometido como él.

En tercer lugar, quiero manifestar mi gratitud al profesor Mgtr. Carlos Ronquillo Franco por su guía y apoyo esencial a lo largo de mi formación académica. De igual manera, es vital reconocer la contribución de los Mgsts. Alfredo Varas, Edison Del Rosario, José Vera, Allison García y Xavier Toledo. Junto a otros docentes, han sido mentores esenciales en mi desarrollo profesional. A ello, se suma la invaluable guía de la Mgtr. Francisca Flores, mi consejera, cuya sabiduría y consejos ha enriquecido mi perspectiva, brindándome orientación en cada paso, y por ello le estoy profundamente agradecida

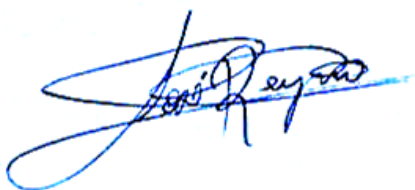
En cuanto a nuestra Tutora, la Ing. Mishelle Cordero, no tengo palabras suficientes para agradecer su incansable dedicación y liderazgo que han sido determinantes para el logro de este proyecto de Materia Integradora. Además, mi agradecimiento a Ing. Pedro Galeas, nuestro tutor asignado por la empresa, por su orientación y apoyo constante en este proyecto. Sin su guía, este proyecto no habría alcanzado su potencial.

Por último, pero no menos importante, a mis compañeros Hugo, Tamara, Luis, Jorge Miguel, Melissa y Marly: durante la complejidad de esta pandemia, su solidaridad y camaradería fueron esenciales. Y a mis queridos amigos Danna, Adrián, Aldo, Alejandro, Mauricio, Ariana y Erika: su apoyo ininterrumpido y su dedicación para asegurarse de que nunca flaqueara, incluso en los momentos más desafiantes, han sido invaluable.

Emily Abigail Gordillo Vega

DECLARACION EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; José Andrés Reyna Vallejo y Emily Abigail Gordillo Vega da su consentimiento para que ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la propiedad intelectual.”



José Andrés Reyna Vallejo



Emily Abigail Gordillo Vega

EVALUADORES

MSc. Carlos Ronquillo

PROFESOR DE LA MATERIA

MSc Mishelle Cordero Cárdenas

PROFESOR TUTOR

Resumen

La ineficiente estiba de productos en un camión es un problema significativo para las empresas a nivel operativo y administrativo

El proyecto tiene como objetivo principal implementar un aplicativo basado en un modelo matemático para optimizar el espacio de carga de los camiones garantizando la calidad del producto, el cual busca generar un impacto directo en el uso eficiente de recursos de la cadena de suministro de la empresa.

Tras una investigación exhaustiva, Utilizando el problema de colocación en contenedores, conocido como el "Bin Packing Placement Problem", se implementó una solución la cual consistía en un algoritmo basado en un modelo matemático que cumpla con todas las restricciones y variables analizadas en el proyecto.

Antes de la optimización, la ocupación promedio de volumen en el camión era del 79%. Sin embargo, con la solución propuesta, este promedio se redujo al 73%. Es importante destacar que, con esta nueva solución, nunca se superó el límite crítico del 80% de ocupación en ninguno de los escenarios analizados. Este logro no solo beneficia la eficiencia logística de la empresa, sino que también tiene un impacto positivo en la seguridad del transporte de mercancías, al garantizar que la carga esté debidamente asegurada y distribuida en el camión. La aplicación exitosa del problema de colocación en contenedores demuestra la importancia de la optimización en la gestión de recursos y la toma de decisiones estratégicas, lo que se traduce en un transporte más eficiente y confiable, además de potencialmente reducir los costos operativos asociados.

Palabras claves: Estiba de productos, Optimización, Espacio de carga, Eficiencia logística.

Abstract

The inefficient stowage of products on a truck is a significant problem for companies at an operational and administrative level.

The main objective of the project is to implement an application based on a mathematical model to optimize the loading space of trucks, guaranteeing product quality, which seeks to generate a direct impact on the efficient use of resources in the company's supply chain. . .

After an exhaustive investigation, using the container placement problem, known as the "bin packing placement problem", a solution was implemented which consisted of an algorithm based on a mathematical model that complies with all the restrictions and variables analyzed in the project.

Before optimization, the average volume occupancy on the truck was 79%. However, with the proposed solution, this average was reduced to 73%. It is important to highlight that, with this new solution, the critical limit of 80% occupancy was never exceeded in any of the scenarios analyzed. This achievement not only benefits the company's logistics efficiency, but also has a positive impact on the safety of freight transportation, by ensuring that the cargo is properly secured and distributed on the truck. The successful application of the containerization problem demonstrates the importance of optimization in resource management and strategic decision making, resulting in more efficient and reliable transportation, as well as potentially reducing associated operating costs.

Keywords: Product stowage, Optimization, Cargo space, Logistics efficiency.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	11
CAPÍTULO 1.....	18
1.1 INTRODUCCIÓN.....	18
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2.1. Diagrama De La Problemática	19
1.3. JUSTIFICACIÓN	20
1.4. ALCANCE	21
1.5. OBJETIVOS.....	22
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	22
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
1.6. MARCO TEÓRICO	22
1.7. ESTADO DEL ARTE	24
CAPÍTULO 2.....	27
2.1. METODOLOGÍA	27
2.2. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	27
2.2.1. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	27
2.2.2. RECOPIACIÓN DE LOS DATOS	29
2.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	31
2.4. DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS	32
2.5. Pseudocódigo.....	36
2.6. CONSIDERACIONES LEGALES.....	38
2.7. USO DE SOFTWARE	40
2.8. FASES DEL PROYECTO.....	41
2.9. CRONOGRAMA DE TRABAJO	42
CAPITULO 3.....	43
3.1. RESULTADOS Y ANÁLISIS	43
3.2. DISEÑO DEL PRODUCTO.....	43
3.3. PRODUCTOS/ENTREGABLES.....	44
3.4. ANÁLISIS DE ESCENARIO ACTUAL.....	45
3.4.1 ESCENARIO.....	48
3.5. ANÁLISIS DE LOS MODELOS	51
3.5.1 ANÁLISIS DE SOLUCIÓN PROPUESTA.....	52
3.6. ANÁLISIS DE COSTOS.....	53

3.6.1 ANÁLISIS COMPARATIVOS.....	56
3.7. EXPERIMENTOS NUMÉRICOS	58
CAPITULO 4.....	60
4.1. CONCLUSIONES.....	60
4.2. RECOMENDACIONES	61
4.3. BIBLIOGRAFÍA	64

Índice de gráficos

Figura 1.1 DIAGRAMA DE LA PROBLEMÁTICA 5 WHY'S	19
Figura 2.2 Flujo de Procesos	27
Figura 2.2 Perfil de consumidor	28
Figura 4 Orientaciones de las cajas	33
Figura 2.4 Fases del Proyecto	41
IMAGEN 3. 1 CAMIÓN CARGADO DEL ESCENARIO PROPUESTO	50
IMAGEN 3. 2 VISUALIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	51
Gráfico 3. 1 HISTOGRAMA DESCRIPTIVO DE CATEGORIAS DE PESO DE LOS PRODUCTOS	46
Gráfico 3. 2 HISTOGRAMA DE CATEGORIAS DE PRODUCTOS	47
Gráfico 3. 3 DIAGRAMA DE PASTEL DE LOS CAMIONES DISPONIBLES	48
Gráfico 3. 3 HISTOGRAMA COMPARATIVO DE ESCENARIOS	52

Índice de tablas

Tabla 1 Extracto de Base de Datos	30
Tabla 2 Cronograma de trabajo	42
Tabla 3 Descripción de pedido	49

Abreviaturas

Cj	Caja
BPP	Bin Packing Problem
BPPP	Bin Packing Placemant problem
ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible
SKU	Stock Keeping Unit

Glosario

BPP	Modelo matemático Bin Packing Problem
BPPP	Modelo matemático Bin Packing Placemant problema, resultado de la combinación del Bin Packing Problem y el Placemant problema
ESTIBA	Cargar y asegurar mercancía en vehículo para viaje eficiente y seguro.
SKU	Identificador único para cada producto

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

La correcta estiba de la carga es fundamental para la seguridad de los camiones, así como para optimizar el espacio utilizado, priorizando que la calidad del producto no se vea afectada. En este caso, una de las principales variables para considerar son las diferentes dimensiones de las cajas de los productos y de los camiones.

Otras variables que se deben considerar son: la demanda por cliente, la naturaleza de los productos, de sus empaques y los diferentes destinos de los pedidos. Resaltando el impacto de este último en el orden de ubicación de las cajas.

La empresa que requiere solucionar esta problemática es una de las multinacionales más grandes a nivel global, la cual se encarga de producir, importar y distribuir gran cantidad de bebidas y alimentos. Por lo tanto, el proceso de estiba de camiones es esencial en su cadena de suministro, por lo que el proyecto se enfoca en optimizar el espacio utilizado en los camiones, garantizando la calidad del producto.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, la empresa donde se desarrolla el proyecto posee una cartera de clientes muy extensa, que debe satisfacer en totalidad de su demanda. Debido a esto se debe optimizar los espacios dentro de los camiones de carga. Existe esta necesidad, ya que se observa un porcentaje significativo de holgura, por lo que se genera la duda sobre la posibilidad de optimizar este espacio, teniendo en cuenta que la calidad del producto no puede ser afectada.

El problema es que las dimensiones de las cajas (empaques) no son homogéneas, debido a la gran cantidad de productos que posee el inventario. También existen cajas que no están selladas, porque en los pedidos solo se requieren unidades (fracción de la caja).

También existe el inconveniente de ubicación, porque los clientes dan a conocer que tienen ventanas de tiempo en las que se debe satisfacer la demanda, por eso se deben ubicar esos pedidos estratégicamente para satisfacer a todos los clientes. También se debe considerar la dimensión de los camiones que no son homogéneos, por lo que la cantidad y forma de ubicar las cajas puede variar en el proceso de estiba.

1.2.1. Diagrama De La Problemática

La problemática pretende incrementar la ocupación vehicular sin afectaciones en la carga, en la que intervienen diferentes procesos y diferentes escenarios. En la siguiente figura se describen los aspectos por los que varía la carga de los productos en el camión.

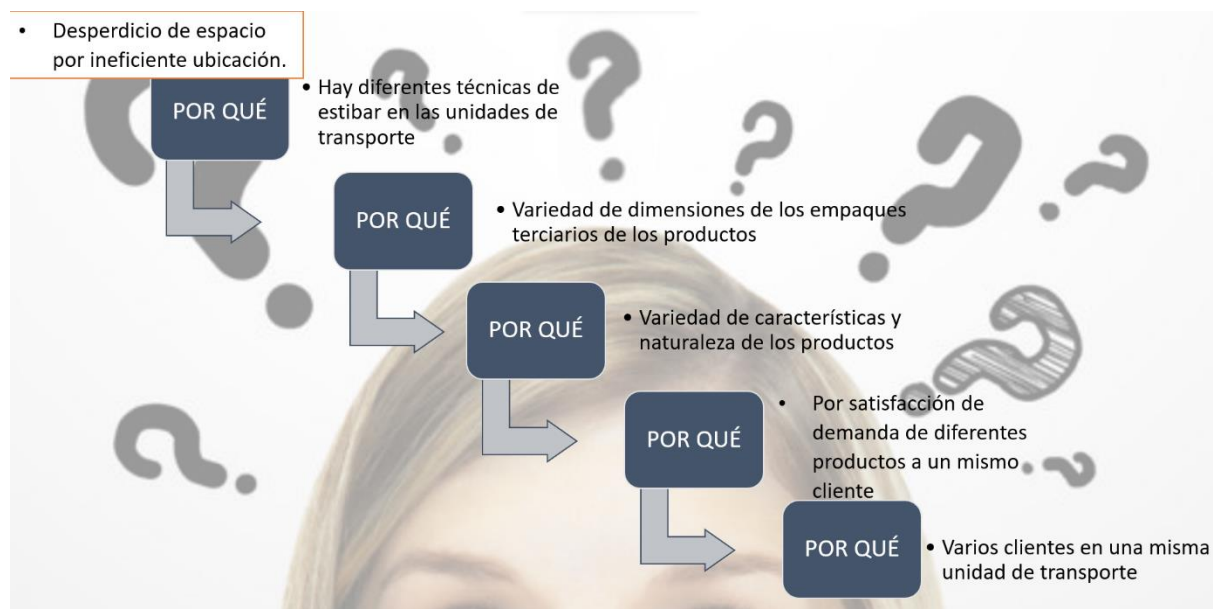


Figura 3 DIAGRAMA DE LA PROBLEMÁTICA 5 WHY'S (Gordillo & Reyna,2023)

La distribución de los productos varía dentro del camión debido a las diferentes formas de estiba existentes. Esta variación se debe a la gran diversidad de productos en el inventario, los cuales presentan características distintas, siendo la diferencia de tamaños de los empaques terciarios la más relevante. Además, el material de estos empaques terciarios depende en gran medida de la naturaleza del producto. Por lo tanto, existe una amplia variedad de empaques con diferentes dimensiones y estructuras, lo que resulta en una carga heterogénea en el camión y complica su estiba.

Además de estibar las cajas con diversas dimensiones, es importante considerar que existen cajas que contienen únicamente ciertas unidades. Esta situación se debe a que los clientes no realizan pedidos de cajas completas, sino que solicitan fracciones de estas. Por lo tanto, es necesario asignar un lugar específico para ubicar estas cajas. Por último, en los camiones se transportan no solo los pedidos de un cliente, sino que se colocan múltiples pedidos para satisfacer la demanda de varios clientes.

El problema se centra en el desperdicio de espacio en los camiones, con una posible causa siendo una estiba ineficiente. Es importante destacar que, durante este proceso de estiba, se debe garantizar que el producto no sufra ningún daño, es decir, la carga no puede ser estibada de manera inadecuada.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La estiba de las cargas de los camiones tiene como objetivo optimizar el espacio disponible en cualquier unidad de transporte de carga, teniendo en cuenta varios factores, los cuales permiten que los productos no sufran afectaciones. Por lo tanto, es imprescindible hacerlo de la mejor manera para que los productos sean ubicados y distribuidos de la manera más adecuada que sea posible considerando las características de cada producto.

Mediante el presente proyecto, se espera elaborar una herramienta que permita realizar el proceso de estibar de la mejor manera posible, teniendo a consideración las diferentes características que poseen los productos. También se tiene en consideración la

naturaleza de los pedidos, es decir, aquellos camiones que no solo están destinados a un solo cliente, sino que llevan la mercadería para satisfacer diferentes pedidos.

El proyecto tiene como finalidad generar beneficios a la empresa, optimizando el espacio que se tiene en los diferentes tipos de camiones sin causar afectaciones a la carga, esto se busca, mediante el uso de la herramienta a desarrollarse. Dicha herramienta se basa en el modelo matemático llamado “el problema del empaquetamiento”, el cual una de sus numerosas aplicaciones consiste en modelar la carga de los camiones con limitaciones de peso o como en este caso de almacenamiento.

Nuestro proyecto busca generar un impacto directo en el uso eficiente de recursos de la cadena de suministro de la empresa. Dado que, en el proceso de distribución el uso de las unidades de transporte tiene un impacto directamente proporcional con el medioambiente. Con la elaboración de este aplicativo se busca desarrollar una solución alineada con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) Número 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación, ya que se pretende aprovechar el espacio utilizado de manera eficiente con el fin de optimizar los recursos de la empresa. Por lo tanto, reduciendo el impacto ambiental.

1.4. ALCANCE

El proyecto en desarrollo se abarca el problema del empaquetamiento, o también conocido como BIN PACKING PROBLEM, en el cual se tiene un grupo de objetos o ítems grandes y un grupo de objetos pequeños, donde se espera colocar los objetos pequeños dentro de los objetos grandes cumpliendo las restricciones del problema. Las restricciones indican que las dimensiones de los objetos pequeños no deben sobrepasar las dimensiones de los objetos grandes, y la función objetivo debe ser optimizada. Sin embargo, las restricciones pueden aumentar dependiendo del problema. En el caso de la empresa se tiene en consideración otras restricciones, con el fin de satisfacer las necesidades que posee la misma. Con las cuales se busca maximizar el espacio de carga de los camiones sin causar

afectaciones a los productos. Como solución del problema se propone una herramienta digital, basado en un modelo matemático del cual se espera que muestre la mejor distribución, teniendo en cuenta el número de pedidos por camiones y el orden de los mismo.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Optimizar el proceso de estiba en la carga de los camiones de una empresa de bebidas y alimentos, mediante un aplicativo de almacenamiento de carga, para la utilización eficiente del espacio disponible

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los procesos actuales determinar las variables y/o restricciones que influyen en el proceso de carga de los camiones
- Implementar un modelo matemático en el cual se tengan a consideración las variables y restricciones.
- Determinar la eficiencia de la alternativa propuesta por el aplicativo, luego del contraste entre un escenario actual y la solución sugerida.

1.6. MARCO TEÓRICO

La optimización combinatoria comprende un amplio campo de la matemática, donde mediante algoritmos busca dar soluciones a problemas ya sean de maximización o de minimización, todo esto con la ayuda de una función principal que se la conoce como función objetivo, cabe recalcar que dicha solución, debe cumplir con cada una de las restricciones comprenda cada problema. Esta rama de la matemática tiene varias aplicaciones, ya sea en la industria, social, en la administración de organizaciones, etc. (Puchingery col., 2010)

Los problemas los cuales se encargan de resolver la optimización combinatoria son muy variados por ejemplo, el ruteo de vehículos, donde su objetivo es elegir la ruta optima a

cumplirse por una flota de vehículos, también se tiene el problema de asignaciones, donde como su nombre lo dice, busca asignar o aparear conjuntos cumpliendo las debidas restricciones y también tenemos el cual se usara el este proyecto, el problema de empaquetamiento, donde se busca agrupara un conjunto de elementos en el menor espacio posible. (Pousa, 2018)

El problema de empaquetamiento o como se lo conoce en sus siglas en inglés (BPP, Bin Packing Problem), es considerado como un problema que es difícil de resolver, a estos se los conoce con las siglas NP-HARD, el cual va relacionado con el tiempo en el que arrojan una solución, es decir dichos problemas NP-HARD, arrojan una solución en un tiempo demasiado largo, incluso existen problemas que según los análisis si los resolvemos con estos modelos pueden tardar años en ser resueltos. (Monaci y Toth, 2006).

El Bin Packing Problem consiste en colocar la mayor cantidad de ítems, al cual se le asocia un valor, o un peso, en la menor cantidad de contenedores posibles. Los contenedores también se les asigna un valor, al cual se le denominara su capacidad. La cantidad de ítems que se pueden colocar en un contenedor no puede pasar la capacidad establecida para cada contenedor. Por lo que el modelo busca minimizar la cantidad de contenedores a utilizarse. (Monaci y Toth, 2006).

El problema de empaquetamiento o Bin Packing Problem presenta varias variaciones, por lo que presentaremos las variaciones que se presentaran en este proyecto.

El empaquetamiento donde los ítems no poseen un solo valor, sino presentan varios, esto se debe a que los tamaños de los empaques no son los mismos para cada producto, debido a esto el valor cambiara. El tamaño de los contenedores no será igual ya que se tienen diferentes tipos de camiones donde el espacio para cargar es diferente. (Pousa, 2018)

Empaquetamientos donde existan conflictos entre sí, esto se debe a la contaminación cruzada que pueda existir. El empaquetamiento donde exista restricción de ubicación, ya que

los camiones que poseen la carga para satisfacer a más de un cliente deben tener la carga subdivida. (Pousa, 2018)

1.7. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se muestra literatura existente que presentan ciertas similitudes con el objetivo del proyecto, los cuales hacen referencia al problema de empaquetamiento y a su distribución.

El artículo "Estudio del problema de corte y empaquetamiento aplicado en una empresa de distribución" Bañol Arias, N., Tabares Pozos, A., & Toro Ocampo, E. M. (2012), en el cual se realiza la revisión del problema de corte y empaquetamiento en tres dimensiones. ("Resumen de Estudio del problema de corte y empaquetamiento ... - Dialnet") En este trabajo se analiza dos variantes del problema del empaquetamiento, el problema de la mochila y el problema de emplazamiento.

La empresa debe satisfacer las entregas a sus clientes finales, el investigador estos procesos lo clasifica como el problema de la mochila en tres dimensiones. El objetivo de este problema es maximizar el número de despachos, disminuyendo el volumen sin usar en los vehículos. Cumpliendo las restricciones del problema se lo define en tres dimensiones, los vehículos tienen una capacidad espacial, peso y en cantidad limitada.

También se tiene que respetar que las cajas no se pueden superponer, y tienen un orden de empaque que el último en entrar es el primero en salir. No existe el empaquetamiento en guillotina, existe restricción en cuanto a orientación, se tiene una flota heterogénea y el conjunto de pedidos es fuertemente heterogéneo.

También se describe el problema de emplazamiento, el cual se lo usa para reabastecer a las sucursales, donde la función objetivo ahora es, maximizar el número de productos despachados, disminuyendo el desperdicio de los vehículos usados. Donde las restricciones son similares que en el problema de la mochila sus únicas variantes son, no

existe restricción de empaquetamiento guillotina y el conjunto de cajas es débilmente heterogéneo.

El investigador ofrece una propuesta para mejorar el procedimiento de asignación de carga, para que el porcentaje de aproximado de ocupación se calcule automáticamente. Se realiza un análisis entre una empresa de distribución y el método propuesto. Se obtuvo que se tienen resultados satisfactorios para el problema de la mochila, el cual mejoro significativamente el aprovechamiento de los vehículos.

En el artículo de “Una búsqueda tabú para el Bin Packing Problem” Delgado, M. C., Cortés, P., Escudero, A., & Muñuzuri, J. (2007), corresponde al estudio unidimensional de dicho problema, buscando minimizar el número de cajas utilizados.

El documento es un estudio detallado sobre la implementación de una Búsqueda Tabú para el problema de empaquetamiento en cajas. Se explica qué es el problema de empaquetamiento en cajas y su importancia, cómo funciona la Búsqueda Tabú y cómo se aplica al problema tratado, así como los principales desafíos al adaptar el algoritmo genérico al problema y cómo se pueden superar

Los investigadores definen de vital importancia la definición de estructura de vecindario en el espacio de soluciones, ya que se considera vecindad de una solución a aquellas que pueden obtenerse a partir de esa solución realizando desplazamiento de ítems de una caja a otra.

Así también se presenta la implementación específica del algoritmo genético para la resolución del Bin Packing Problem, teniendo en cuenta las características que posee y como adaptarlas. Por lo que este documento nos proporciona información de cómo aplicar la búsqueda tabú al problema específico del empaquetamiento.

En el artículo “MIP-based heuristic for non-standard 3D-packing problems” Fasano, G. (2006), se busca resolver el problema de empaquetamiento en 3D con un enfoque heurístico basado en MIP. Donde define el problema clásico, donde, dado un conjunto de n

paralelepípedos y un paralelepípedo D , se debe colocar la mayor cantidad de paralelepípedos n en el paralelepípedo D .

También se tiene que cada paralelepípedo debe ser paralelo a D , cada paralelepípedo debe estar contenido en D y los paralelepípedos no pueden superponerse. Así mismo se tienen dos observaciones, la primera, que los objetos con orientación prefijada son muy fáciles de tratar y la segunda, supone que el centro de masa del elemento y su centro geométrico son coincidentes.

Esta última observación nos indica que solo hay seis rotaciones, sin embargo, si el objeto es asimétrico existen veinticuatro rotaciones. Además, el autor discute la formulación MIP del problema básico de empaquetamiento y su extensión a problemas no estándar.

En general este artículo proporciona una solución eficiente y efectiva para resolver problemas de empaquetamiento en 3d, usando técnicas heurísticas basadas en MIP. Este enfoque posee ventajas sobre otros métodos, ya que es capaz de manejar problemas con condiciones adicionales.

CAPÍTULO 2

2.1. METODOLOGÍA

En la metodología usada podemos nombrar las diferentes técnicas que se utilizaron en el presente proyecto para obtener el levantamiento de información, tanto en reuniones con los tutores de la empresa, como toda la información recopilada en las visitas a las instalaciones de la bodega. Con todos los datos obtenidos se analizó para determinar las condiciones y problemas del escenario estudiado. Teniendo como resultado la definición de restricciones y variables para nuestro modelo.

2.2. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

2.2.1. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

El levantamiento de información se realizó a través de las visitas guiadas por los tutores designados por la empresa, quienes brindaron información acerca del proceso, además, mostraron todo el proceso para poder estibar un camión. Así mismo, comentaron sobre la problemática de la estiba, la cual consistía en que se la realizaba de acuerdo como el estibador le parecía mejor donde ubicar los productos.

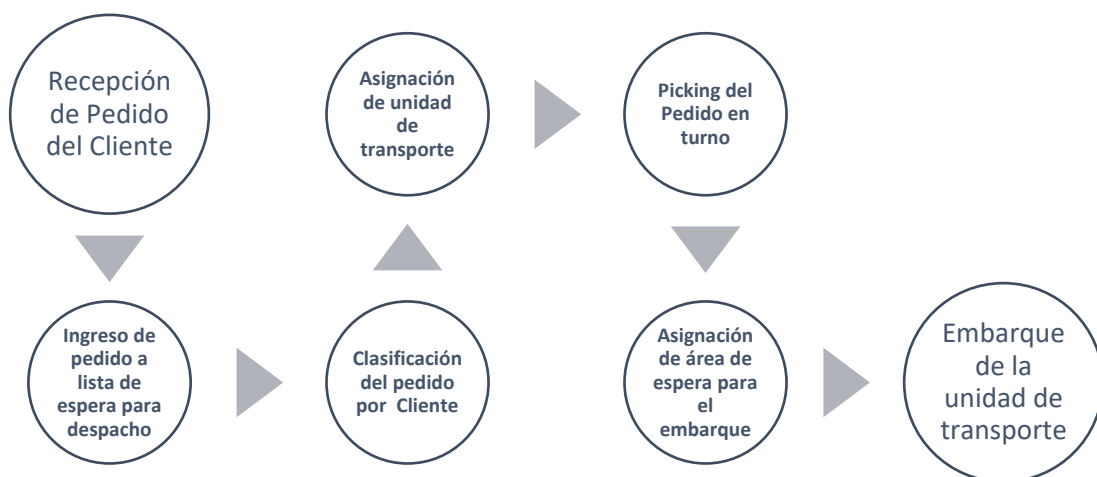


Figura 4.1 Flujo de Procesos (REYNA & GORDILLO)

Lo primero que se observó fueron los diferentes procesos necesarios que se ejecutan en la bodega para el despacho de los pedidos.

Luego con la información obtenida a través de un banco de preguntas que se encuentra en el anexo se logró profundizar en el tema, entendiendo a los actores principales los cuales fueron definidos en el capítulo anterior.

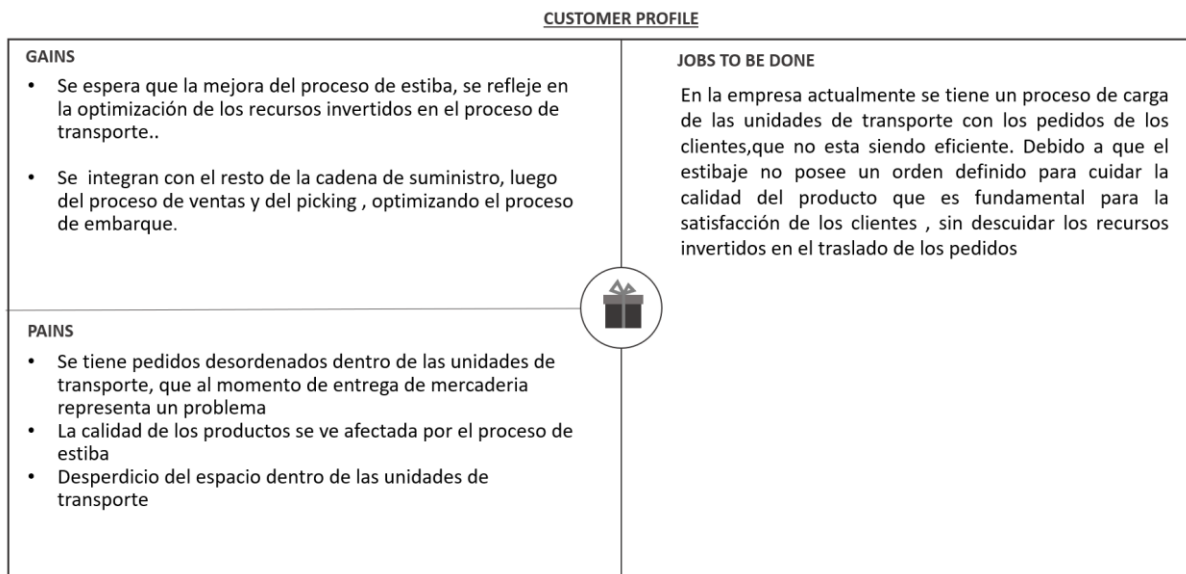


Figura 2.2 Perfil de consumidor (REYNA & GORDILLO, 2023)

A continuación, en la figura 2.2 se muestran los resultados que se obtuvieron mediante las entrevistas realizadas a los actores. Se manifiesta que, dentro de los camiones, cuando existen pedidos desordenados representa una molestia y una pérdida de tiempo tanto para el cliente como para los despachadores. La calidad de los productos se ve afectada por el proceso de la estiba, esto se debe a que en algunas ocasiones los estibadores no colocan bien las cajas. Además, también existe un desperdicio de espacio dentro de las unidades de transporte, esto se lo mencionó antes que se debe a que el proceso de ubicación lo realizan los mismos estibadores, lo cual depende de su experiencia en como ubicar, lo cual conlleva a un desperdicio de espacio.

2.2.2. RECOPIACIÓN DE LOS DATOS

La base de datos fue proporcionada por el tutor de la empresa, la cual fue revisada y depurada para un mejor manejo de dicha base. Además, de acuerdo con las visitas que se realizaron a la empresa y las observaciones de los tutores, se procesó la información separándola por diferentes categorías.

Material	Texto breve material	Unidad de medida	Unidad medida base	Longitud	Ancho	Altura	Unidad dimensión	Peso bruto	Peso neto
12534975	3rd Foods Avena Manzana Canela 12x170gEC	CJ	UNI	360	125	98	MM	3,350	2,040
12535102	3rd Foods Avena Pera Durazno 12x170g EC	CJ	UNI	360	125	98	MM	3,350	2,040
12535079	3rd Foods Carne Vegetal 12x170g EC	CJ	UNI	360	125	98	MM	3,350	2,040
12534988	3rd Foods Harvest Cena de Pavo 12x170gEC	CJ	UNI	360	125	98	MM	3,350	2,040
142145	ALFARÉ DS080-1 6X400g MX	CJ	UNI	322	213	127	MM	3,200	2,400
12501253	ALPO ADLTS Todos Tamanos 6x4kg PR 3/4 CO	CJ	UNI	450	600	230	MM	24,300	24
12501262	ALPO ADULTOS Todos Los Tamanos 6x2kg CO	CJ	UNI	450	330	180	MM	12,200	12
12501228	ALPO CCHR Todos Los Tamanos 6x2kg CO	CJ	UNI	450	330	180	MM	12,200	12
12097910	ALTHERA DS079-2 6x450g CO	CJ	UNI	322	213	127	MM	3,500	2,700
142457	ALTHERA DS079-2 6x450g MX	CJ	UNI	322	213	127	MM	3,500	2,700
12523009	AMOR Chocolate 104x58g EC	CJ	UNI	467	277	185	MM	6,440	6,032
11495076	AMOR Classic 100x100g ES	CJ	UNI	600	310	256	MM	10,800	10
12456225	AMOR Gall Wafer Chocolate 22x180gEC	CJ	UNI	475	285	201	MM	4,100	3,960
12342673	AMOR Gall Wafer Chocolate 36x180g EC	CJ	UNI	388	288	406	MM	7,300	6,480

Tabla 1 Extracto de Base de Datos (REYNA & GORDILLO,2023)

Los datos obtenidos de la base de datos corresponden a los empaques de cada uno de los productos manejados en el centro de distribución donde se realiza el proyecto. Dichos datos fueron los que proporcionaron la información de las dimensiones, tales como el ancho, la longitud y la altura, así como también el peso de los ya mencionados empaques.

Además, también indican cuál es su unidad de medida, la cual puede ser por pallets o por cajas. Sin embargo, la alternativa de pallets no se tendría en cuenta en este proyecto, ya que en el proceso de estiba de los mencionados pallets no se generan problemas.

2.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La finalidad de procesar la información que nos fue proporcionada por la base de datos era clasificar los empaques. En primer lugar, por la naturaleza del producto, por ejemplo, galletas, formulas, mascota, café, etc. En segundo lugar, se realizó una clasificación por el material en el que están empaquetados, por ejemplo, el alimento para mascotas está empaquetados en bultos, las fórmulas en latas, los cafés en envases de vidrio y así sucesivamente con los demás productos.

Y como tercer punto, se clasificó dependiendo de la naturaleza de su resistencia. Esto se pudo observar en las visitas, como también las observaciones que nos mencionaban los tutores de la empresa. Esta clasificación se refería a la capacidad del material del empaque para resistir el peso de otras cajas colocadas sobre él, además de las restricciones de ubicación que poseen distintos productos.

Por ejemplo, teníamos las cajas de galletas en las cuales no se debía colocar nada pesado sobre ellas. Los productos cubiertos con chocolate debían estar colocadas en la parte central sin cajas que se consideren pesadas encima de ellos, mientras que las fórmulas se debían ubicar colocar en la parte de abajo sin cajas que se consideren pesadas en la parte de arriba.

Esta clasificación busca que el modelo planteado, tenga en cuenta la situación actual de la problemática para poder definir las restricciones necesarias.

2.4. DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS

Para optimizar la estiba de objetos, el problema del Placement (colocación) es más adecuado que el problema de la mochila. A continuación, se explican algunas razones por las cuales el problema del Placement puede ser recomendable

El problema del Placement permite tener en cuenta el espacio tridimensional al colocar los objetos. Esto es particularmente útil cuando se necesita apilar objetos o utilizar diferentes alturas y configuraciones para maximizar la capacidad de almacenamiento. El problema de la mochila, en cambio, generalmente se enfoca en un espacio bidimensional (peso y valor), lo que limita su aplicabilidad en escenarios de estiba.

El problema del Placement puede incorporar fácilmente restricciones adicionales, como restricciones de capacidad, restricciones de estabilidad, restricciones de compatibilidad entre objetos, entre otras. Estas restricciones son comunes en situaciones de estiba, donde es necesario tener en cuenta aspectos como la capacidad de carga de cada nivel de estiba o las restricciones de colocación de ciertos objetos en función de su forma o fragilidad. El problema de la mochila, en general, no aborda este tipo de restricciones específicas de la estiba.

La unión del problema del Bin Packing (empaquetamiento en contenedores) y el problema del Placement (colocación) da lugar a un problema combinado llamado Bin Packing Placement Problem (BPPP). En este problema, se busca encontrar la manera óptima de empaquetar y colocar un conjunto de objetos en contenedores o ubicaciones con el objetivo de minimizar el espacio utilizado o maximizar la utilización del espacio

Consideraciones iniciales

i: Artículo i de I

j: tipos de camiones

k: orientaciones de la caja

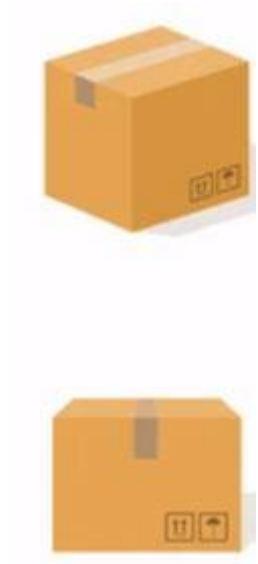


Figura 2.3 Orientaciones de las cajas (REYNA & GORDILLO)

Solo se considerarán dos rotaciones para las cajas, esto debido a que se busca evitar afectaciones en los productos.

Parámetros

n: número de objetos

m: número de contenedores o ubicaciones

K: número de posiciones por contenedor

$w_{(i)}$: ancho o tamaño del objeto i

$h_{(i)}$: altura o tamaño del objeto i

$d_{(i)}$: largo o tamaño del objeto i

$W_{(j)}$: ancho o tamaño del contenedor j

$H_{(j)}$: altura o tamaño del contenedor j

$D_{(j)}$: largo o tamaño del contenedor j

Variables

$X_{(i,j)}$: toma el valor de 1 si el objeto i se coloca en el contenedor j , y 0 en caso contrario

$Y_{(i,j,k)}$: toma el valor de 1 si el objeto i se coloca en la posición k en el contenedor j , y 0 si no

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{nm} W_{(j)} * H_{(j)} * D_{(j)} * X_{(i,j)} - \sum_{i,k,j=1}^{nmK} w_{(i)} * h_{(i)} * d_{(i)} * Y_{(i,j,k)}$$

$$\sum_{i=1}^n w_{(i)} * h_{(i)} * d_{(i)} * X_{(i,j)} \leq W_{(j)} * H_{(j)} * D_{(j)}, \forall j \in m \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{(i,j)} = 1, \forall i \in n \quad (2)$$

$$Y_{(i,j,k)} \leq X_{(i,j)}, \forall i \in n, \forall j \in m, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_{(i,j,k)} \leq X_{(i,j)}, \forall i \in n, \forall j \in m \quad (4)$$

$$Y_{(i,j,k)} + Y_{(i,j,k+2)} \leq 1, \forall i \in n, \forall j \in m, \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_{(i,j,k)} \geq 1, \forall i \in n, \forall j \in m \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_{(i,j,k)} \geq 1, \forall i \in n, \forall j \in m \quad (7)$$

La función objetivo en este contexto de optimización logística tiene como objetivo principal minimizar el número de camiones utilizados para transportar una lista de artículos, lo que se traduce en una carga más eficiente y una reducción de costos. Esto se logra a través de variables binarias que representan la asignación de camiones (1 si se utiliza, 0 si no) y una suma que busca minimizar el uso total de camiones. Las restricciones aseguran que los artículos se asignen a camiones adecuados, respetando las capacidades de carga y dimensiones de los vehículos.

En resumen, la función objetivo y las restricciones trabajan en conjunto para encontrar la asignación óptima de camiones, minimizando así el número de camiones utilizados y optimizando la eficiencia en la carga y transporte de mercancías, lo que es fundamental en la gestión de la cadena de suministro

La restricción (1) establece que la suma de las áreas ocupadas por los objetos en el contenedor j , no debe superar el área total disponible del contenedor j . En resumen, la restricción de capacidad del contenedor asegura que la colocación de los objetos en el contenedor no exceda su capacidad máxima, evitando así la sobrecarga y el desbordamiento del contenedor.

La restricción (2) establece que la suma de las variables $X_{(i,j)}$ para un objeto i dado debe ser igual a 1. Esto garantiza que el objeto i sea asignado a un solo contenedor o ubicación y no se duplique o se coloque en múltiples lugares. La restricción de asignación única asegura que cada objeto se coloque en al menos un contenedor o ubicación, evitando que el objeto quede sin colocar y garantizando que se asigne un lugar para cada objeto.

La restricción 3 se refiere a la relación entre las variables binarias $Y_{(i,j,k)}$ y $X_{(i,j)}$ en un problema de optimización combinatoria. Esta restricción establece una condición en la que $Y_{(i,j,k)}$ solo puede ser igual a 1 si $X_{(i,j)}$ también es igual a 1, y debe ser igual a 0 si $X_{(i,j)}$ es igual a 0. En otras palabras, $Y_{(i,j,k)}$ depende de la asignación de objeto i al contenedor j .

- Si $X_{(i,j)}$ es igual a 0 (es decir, el objeto i no se asigna al contenedor j), entonces $Y_{(i,j,k)}$ debe ser igual a 0 para cualquier valor de k . En otras palabras, no se pueden asignar posiciones en el contenedor j para un objeto que no está en ese contenedor.

- Si $X_{(i,j)}$ es igual a 1 (es decir, el objeto i se asigna al contenedor j), entonces $Y_{(i,j,k)}$ puede tomar valores tanto 0 como 1 para $\forall(k)$. Esto significa que $Y_{(i,j,k)}$ se utiliza para representar si el objeto i se coloca en la posición k del contenedor j .

En resumen, la restricción 3 asegura que las variables $Y_{(i,j,k)}$ se utilicen de manera coherente con la asignación de objetos a contenedores representada por las variables $X_{(i,j)}$.

La restricción 4 establece que la suma de las variables $Y_{(i,j,k)}$ para un objeto i dado y todas las posiciones k dentro del contenedor j no puede exceder la variable $X_{(i,j)}$. Esto significa que un objeto solo puede colocarse en una posición dentro del contenedor si la

variable de asignación $X_{(i,j)}$ indica que el objeto se coloca en ese contenedor. La restricción de colocación válida asegura que un objeto solo pueda colocarse en una posición dentro de un contenedor si realmente se ha decidido su colocación en ese contenedor, evitando colocaciones incorrectas o no autorizadas.

En esta restricción (5), $Y_{(i,j,k)}$ es una variable binaria de decisión que toma el valor 1 si el objeto i se coloca en la posición k del contenedor j , y 0 en caso contrario. La restricción establece que la suma de las variables $Y_{(i,j,k)}$ y $Y_{(i,j,k+2)}$ para un objeto i dado y una posición k dentro del contenedor j no puede exceder 1. Esta restricción impide que un objeto se coloque en posiciones adyacentes k y $k+2$ dentro del contenedor. En otras palabras, solo se permite la colocación del objeto en una de las dos posiciones adyacentes, evitando así rotaciones innecesarias que podrían generar una colocación ineficiente.

En esta restricción, $Y_{(i,j,k)}$ es una variable binaria de decisión que toma el valor 1 si el objeto i se coloca en la posición k del contenedor j , y 0 en caso contrario. La restricción establece que debe haber al menos una posición k dentro del contenedor j donde se coloque un objeto del grupo de cajas en la parte media. Esta restricción asegura que un grupo específico de cajas solo puede estar ubicado en el piso o en la parte media del contenedor

2.5. Pseudocódigo

Definir una lista de artículos con sus pesos y dimensiones

```
listaDeArticulos = [
```

```
  {nombre: "Articulo1", peso: 10, dimensiones: {longitud: 2, ancho: 1, alto: 1}},
```

```
  {nombre: "Articulo2", peso: 15, dimensiones: {longitud: 3, ancho: 2, alto: 2}},
```

```
  {nombre: "Articulo3", peso: 5, dimensiones: {longitud: 1, ancho: 1, alto: 3}},
```

```
  // Agregar más artículos aquí
```

]

Definir las dimensiones máximas del camión

```
dimensionesCamion = {longitud: 10, ancho: 5, alto: 3}
```

Inicializar un camión vacío

```
camionActual = {contenido: [], pesoTotal: 0, espacioDisponible: dimensionesCamion}
```

Inicializar una lista de camiones

```
camiones = [camionActual]
```

Para cada artículo en la lista de artículos

para cada artículo en listaDeArticulos:

Si el artículo cabe en el camión actual

si artículo.dimensiones <= camionActual.espacioDisponible:

Colocar el artículo en el camión actual

```
camionActual.contenido.agregar(artículo)
```

```
camionActual.pesoTotal += artículo.peso
```

```
camionActual.espacioDisponible.reducir(artículo.dimensiones)
```

Si el artículo no cabe en el camión actual

sino:

Crear un nuevo camión y colocar el artículo en él

```
camionActual = {contenido: [artículo], pesoTotal: artículo.peso, espacioDisponible:  
dimensionesCamion}
```

```
camiones.agregar(camionActual)
```

Resultado: Lista de camiones optimizados

para cada camión en camiones:

```
mostrar("Camión:")
```

```
mostrar("Contenido:", camión.contenido)
```

Este pseudocódigo es una representación simplificada de un algoritmo de optimización de carga de camiones.

2.6. CONSIDERACIONES LEGALES

Al recibir el apoyo de la empresa, es importante cumplir con la responsabilidad ética de utilizar adecuadamente esos recursos y cumplir con las expectativas establecidas. Esto implica utilizar los recursos de manera eficiente, actuar con integridad y transparencia, y garantizar que se realice un trabajo de calidad.

La empresa ha compartido información confidencial o proporcionado acceso a recursos intelectuales, es fundamental respetar la confidencialidad y proteger la propiedad intelectual. Esto implica mantener la información en estricta confidencialidad y no divulgarla a terceros sin la debida autorización.

La empresa ha proporcionado normas de seguridad, es fundamental seguirlas para garantizar la seguridad y el bienestar de todos los involucrados en el proyecto. Esto implica

utilizar el equipo de protección personal adecuado, seguir los procedimientos de seguridad establecidos y reportar cualquier incidente o riesgo potencial.

La ética exige que los empleados sean debidamente capacitados para realizar el estibado de manera adecuada. La falta de formación podría conducir a errores y contaminación cruzada involuntaria. La empresa debe proporcionar recursos adecuados para garantizar que los empleados estén debidamente informados y capacitados para realizar sus tareas de manera ética y segura.

El estibado incorrecto puede llevar a daños o pérdidas de productos, lo que genera un desperdicio innecesario y puede tener un impacto negativo en el medio ambiente. Adoptar prácticas éticas de estibado ayuda a reducir el desperdicio y proteger los recursos naturales.

La ética exige que se proteja la salud y la seguridad de los consumidores en todo momento. El estibado incorrecto podría provocar la mezcla de productos que pueden causar daños a la salud de los consumidores, lo que va en contra del principio ético de evitar daño a otros.

Evitar la contaminación cruzada es especialmente relevante en situaciones en las que algunos consumidores son más vulnerables que otros, como aquellos con alergias alimentarias o enfermedades crónicas. Garantizar que todos los consumidores tengan igual acceso a productos seguros y adecuadamente etiquetados es un principio ético importante.

Seguir las normativas y regulaciones aplicables es una obligación ética. Estas normas están diseñadas para proteger la salud y seguridad de los consumidores y garantizar prácticas comerciales justas y responsables.

Un estibado adecuado es esencial para mantener la calidad y seguridad de los productos, lo que tiene un impacto directo en la salud y el bienestar de los consumidores. Garantizar la seguridad de los productos es una consideración ética fundamental para proteger la salud pública.

El estibado responsable puede ayudar a reducir la huella de carbono y el impacto ambiental. Al evitar la contaminación cruzada y el desperdicio, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y se contribuye a la mitigación del cambio climático

2.7. USO DE SOFTWARE

Para la realización del proyecto se utilizaron los siguientes softwares, que se describen a continuación, y que ayudaron en el manejo de los datos proporcionados por la empresa, así como en la programación del algoritmo.

- Microsoft Excel: Se utilizó Excel para el procesamiento de la información mediante hojas de cálculo. Además, se empleó para leer los datos durante la programación.
- Python: Se utilizó el lenguaje de programación Python para desarrollar los algoritmos previamente establecidos, que brindaron la solución al problema.

2.8. FASES DEL PROYECTO

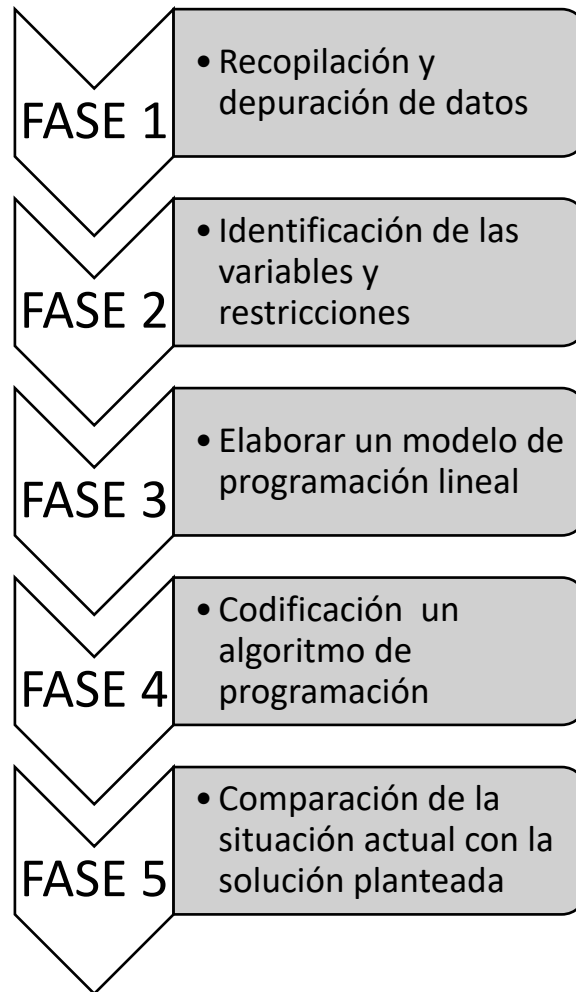


Figura 2.4 Fases del Proyecto (REYNA & GORDILLO)

FASE 1

En esta fase se conoció la problemática de la empresa, y la designación de los tutores responsables por parte la empresa y de la universidad.

Además, se elaboró la propuesta de proyecto requerida para evaluar los requisitos necesarios para el desarrollo del proyecto

FASE 2

Realizo una visita técnica a las instalaciones de la empresa para reconocer los procesos ejecutados y la situación actual de la problemática.

FASE 3

Realizo una visita técnica, en donde se identificó las variables y restricciones que deben cumplirse para el correcto funcionamiento del entregable.

FASE 4

Elaborar un modelo de programación lineal el cual nos brinde una solución para la problemática planteada. Este modelo nos brindara solución para los posibles escenarios, por ejemplo, para los diferentes tipos de camiones, así como también para las diferentes clases de pedidos que hay.

FASE 5

Programar un algoritmo de programación que resuelva el problema planteado, cumpliendo así con las restricciones y variables previamente establecidas.

2.9. CRONOGRAMA DE TRABAJO

Actividad	Abril					Mayo					Junio					Julio				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Descripción																				
Definición de la propuesta					■															
Primera visita (empresa)						■														
Informe ejecutivo							■													
Definición del problema								■	■	■										
Segunda visita												■								
Petición de base de datos													■							
tercera visita														■						
Recepción de información															■					
Revisión medida de empaques																■				
Clasificación en la base de datos																■	■			
Modelamiento																	■	■		

Tabla 2 Cronograma de trabajo (REYNA & GORDILLO)

CAPITULO 3

3.1. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el capítulo de análisis de resultados, se llevará a cabo una exhaustiva evaluación de los datos y las métricas recopiladas durante el desarrollo del proyecto. Este análisis tiene como objetivo principal examinar el impacto de las acciones implementadas en relación con los objetivos establecidos al inicio del proyecto de optimización de estibas

Se presentarán los hallazgos de manera clara y coherente en un informe completo que refleje los logros alcanzados y las áreas de oportunidad identificadas. Las conclusiones del análisis de resultados proporcionarán una base sólida para tomar decisiones informadas, implementar mejoras continuas y maximizar los beneficios obtenidos del proyecto de optimización de estibas.

3.2. DISEÑO DEL PRODUCTO

El proyecto representa un gran desafío en el que se buscaba resolver un desafío logístico persistente: la carga óptima de camiones teniendo en cuenta las restricciones específicas de cada producto. Este no era un simple problema de optimización espacial; cada producto tenía sus propias restricciones, ya fueran de fragilidad, peso, compatibilidad con otros productos, o requisitos de orientación.

Inicialmente, comenzamos por catalogar cada tipo de producto, identificando y documentando sus restricciones particulares. Esta fase nos llevó a comprender la complejidad inherente al desafío. No sólo necesitábamos encontrar un lugar para cada caja en el camión, sino que debíamos garantizar que cada producto estuviera en un lugar adecuado que cumpliera con todas sus condiciones específicas.

Con toda esta información en mano, diseñamos un algoritmo avanzado que, basado en las coordenadas y restricciones de cada producto, podía generar un listado detallado con la ubicación precisa de cada caja dentro del camión. Este listado se convirtió en el "manual" para los equipos de carga, asegurando que cada producto no sólo cabía en el camión, sino que también cumplía con todas sus restricciones.

Sin embargo, éramos conscientes de que un simple listado, aunque detallado, podría no ser suficientemente intuitivo para el personal encargado de la carga. Por ello, decidimos desarrollar una herramienta de visualización interactiva que representara gráficamente el camión y la disposición propuesta de las cajas. Esta herramienta permitía al usuario visualizar cómo debían ser acomodadas las cajas y, en caso de encontrar algún inconveniente práctico en el momento de la carga, ofrecía la posibilidad de ajustar la ubicación de los productos en tiempo real, siempre respetando las restricciones.

3.3. PRODUCTOS/ENTREGABLES

El diseño del producto o entregable en el proyecto de optimización de carga de camiones con restricciones específicas de productos es una solución personalizada y adaptable que aborda este desafío logístico. El entregable principal sería un software o sistema que permita a las empresas realizar una carga óptima en sus camiones, teniendo en cuenta las restricciones individuales de cada producto. Aquí hay un esbozo de cómo podría ser este entregable:

Nombre del Producto: Sistema de Optimización de Carga de Camiones (SOCC)

Descripción del Producto:

El Sistema de Optimización de Carga de Camiones (SOCC) es una solución integral diseñada para resolver los desafíos logísticos en la carga de camiones al considerar las restricciones únicas de cada producto. El SOCC es una herramienta flexible y personalizable

que ayuda a maximizar el espacio en los camiones, reducir daños a los productos y mejorar la eficiencia de la distribución.

Características Principales:

1. Configuración Personalizada:

- Permite definir las restricciones específicas de cada producto, como fragilidad, peso máximo, compatibilidad con otros productos y requisitos de orientación.

2. Optimización Inteligente:

- Utiliza algoritmos avanzados de optimización para determinar la disposición más eficiente de los productos en el camión, cumpliendo con todas las restricciones definidas.

3. Interfaz Intuitiva:

- Ofrece una interfaz fácil de usar que permite a los usuarios cargar productos arrastrándolos y soltándolos en el espacio del camión virtual.

4. Visualización 3D:

- Proporciona una vista en 3D de cómo se cargan los productos en el camión, lo que permite una comprensión visual y una detección temprana de posibles problemas.

5. Simulación de Escenarios:

- Permite simular diferentes escenarios de carga para evaluar el impacto de diferentes restricciones y tomar decisiones informadas.

3.4. ANÁLISIS DE ESCENARIO ACTUAL

En el entorno operativo de la empresa, se observa una distribución aproximadamente equitativa entre productos de peso sustancial y aquellos de menor peso. Esta similitud en la

cantidad de productos pesados y livianos plantea consideraciones cruciales en el proceso de optimización de carga de camiones.

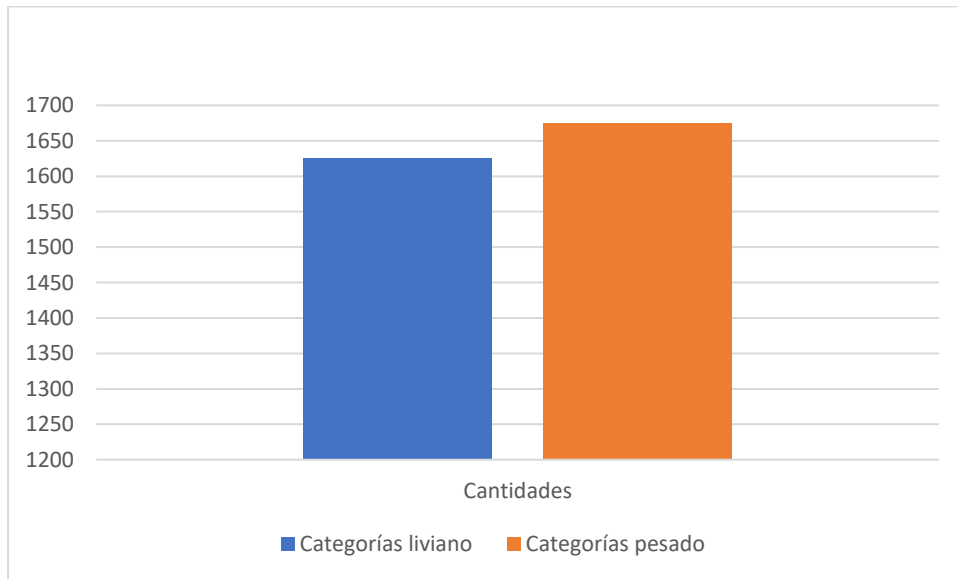


Gráfico3. 1 HISTOGRAMA DESCRIPTIVO DE CATEGORIAS DE PESO DE LOS PRODUCTOS (REYNA & GORDILLO,2023)

En el panorama de productos de la empresa, se identifican diversas categorías que abarcan una amplia gama de productos, incluyendo barras, café, cápsulas, cereales, chocolates, compotas, condimentos, cremas, fideos, fórmulas, frascos, galletas, granolas, lecheras, líquidos, productos para mascotas, yerba mate, pastillas, polvos y artículos promocionales. Cada una de estas categorías posee una proporción única en el conjunto total de productos, como se representa gráficamente.

Esta diversidad de categorías demanda un enfoque adaptable y personalizado en el proceso de carga de camiones, garantizando que la solución de optimización sea capaz de acomodar de manera eficiente las variadas dimensiones y requisitos de cada categoría para lograr un resultado exitoso y equilibrado en términos de aprovechamiento de espacio y recursos.

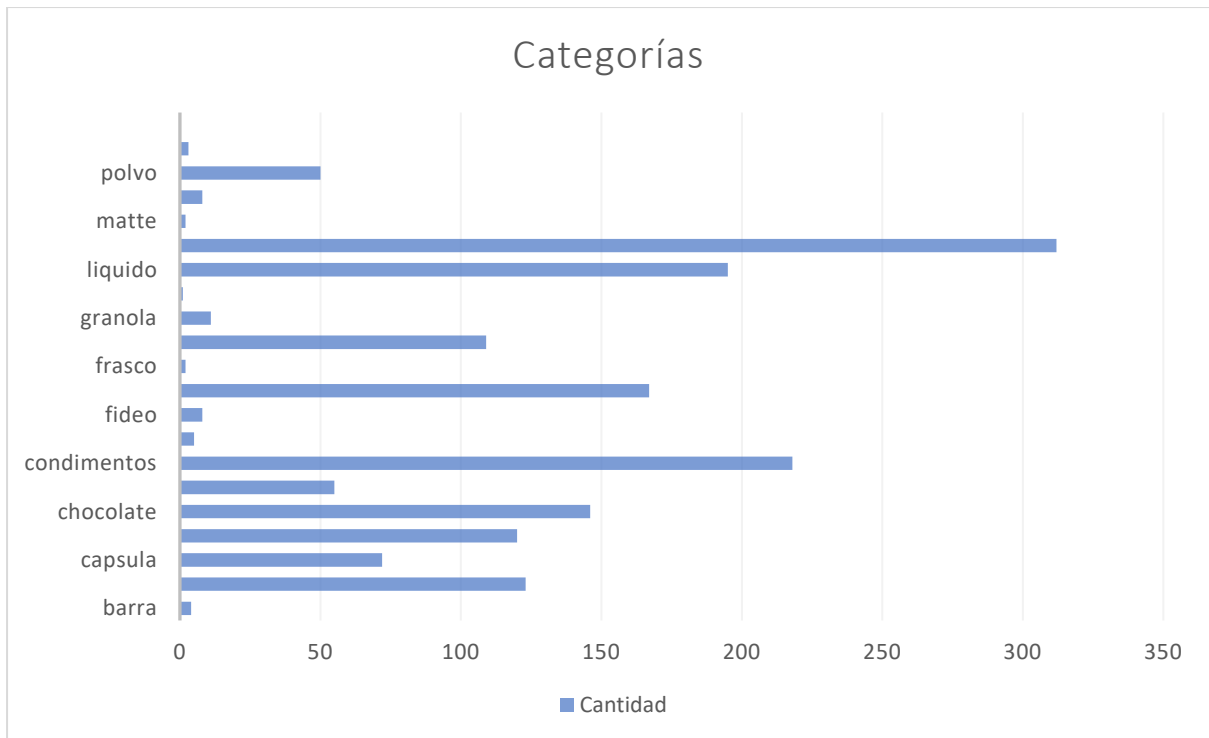


Gráfico 3. 2 HISTOGRAMA DE CATEGORIAS DE PRODUCTOS (REYNA & GORDILLO)

Dentro del alcance del proyecto de optimización de carga de camiones, la empresa dispone de una diversificada flota de vehículos que comprende camiones de los tipos FC, GD, GH, livianos, mulas y trailers.

Cada uno de estos tipos de camiones presenta dimensiones y capacidades únicas, y se encuentran representados en cantidades específicas: 13 camiones FC, 11 camiones GD, 40 camiones GH, 59 camiones livianos, 1 mula y 25 tráileres.

La heterogeneidad en la cantidad y dimensiones de cada tipo de camión subraya la necesidad de una solución de optimización que pueda abordar de manera precisa y adaptable los requerimientos individuales de carga para cada tipo de vehículo, garantizando una utilización eficiente y equitativa de la flota en su totalidad.

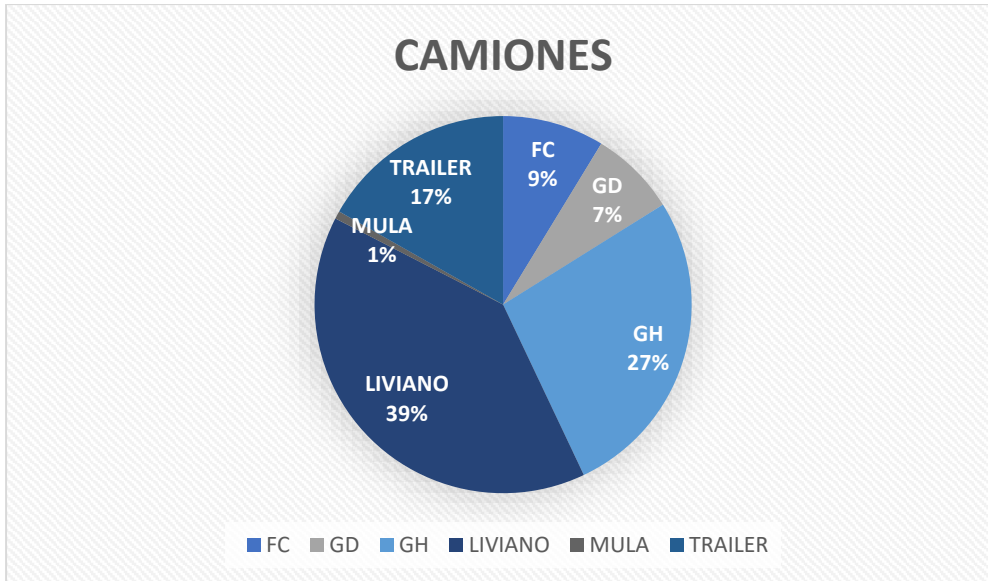


Gráfico 3. 3 DIAGRAMA DE PASTEL DE LOS CAMIONES DISPONIBLES (REYNA & GORDILLO,2023)

3.4.1 ESCENARIO

La empresa se complace en proporcionar el siguiente pedido detallado, donde cada producto está identificado mediante los códigos internos de la empresa, junto con la cantidad correspondiente que será enviada:

Aquí está la lista detallada de productos junto con los códigos, cantidades y descripciones correspondientes:

Código	Cantidad	Unidad
12224266	50	CJ
12519408	50	CJ
12188385	130	CJ
12064708	50	CJ
12224200	20	CJ
12511835	1	CJ
12456207	50	CJ
12455631	100	CJ
12456051	50	CJ
12455741	50	CJ
12456208	50	CJ
12454679	75	CJ
12454730	50	CJ
12454716	40	CJ

Tabla 3 DESCRIPCION DE PEDIDO (REYNA & GORDILLO,2023)

Esta lista presenta los códigos de producto, la cantidad solicitada, la unidad de medida donde, donde CJ significa que la unidad de medida es en cajas.

El vehículo disponible para el transporte de los productos tiene las siguientes dimensiones:

- Tipo de Unidad: LIVIANO
- Largo (l): 5.309 metros
- Base (b): 2.204metros
- Altura (h): 2.409 metros

Estas dimensiones proporcionan una idea clara de las capacidades y especificaciones del vehículo que se utilizará para el transporte de los productos.



IMAGEN 3. 1 CAMIÓN CARGADO DEL ESCENARIO PROPUESTO (REYNA & GORDILLO, 2023)

Según el análisis de la imagen, el porcentaje de utilización del vehículo es del 85%. Esto sugiere que de todo el espacio disponible en el vehículo, el pedido está utilizando al 85% de su capacidad total para cargar los productos. Este nivel de utilización es útil para evaluar la eficiencia y la optimización de los recursos de transporte.

3.5. ANÁLISIS DE LOS MODELOS

El modelo de "Bin Packing" (empaquetamiento de contenedores) es ampliamente reconocido como una de las mejores aproximaciones para el estibado eficiente de productos. Este enfoque matemático y algoritmo se destaca por su capacidad para optimizar el uso del espacio disponible, minimizando la cantidad de contenedores, camiones o pallets utilizados y reduciendo los costos logísticos asociados.

Al considerar factores como el tamaño y forma de los productos, el modelo de Bin Packing busca encontrar la disposición más adecuada para maximizar la capacidad de cada contenedor, evitando desperdicios y permitiendo un manejo más seguro durante el transporte y almacenamiento. Su capacidad para abordar este desafío complejo lo convierte en una herramienta altamente eficiente y recomendada para la optimización del estibado en diversas industrias, mejorando significativamente la eficiencia operativa y el uso de recursos.

Al ejecutar el algoritmo realizado para brindar una solución óptima al problema de estibas nos arroja las siguientes visuales, en el cual se usa el mismo pedido que fue analizado anteriormente:

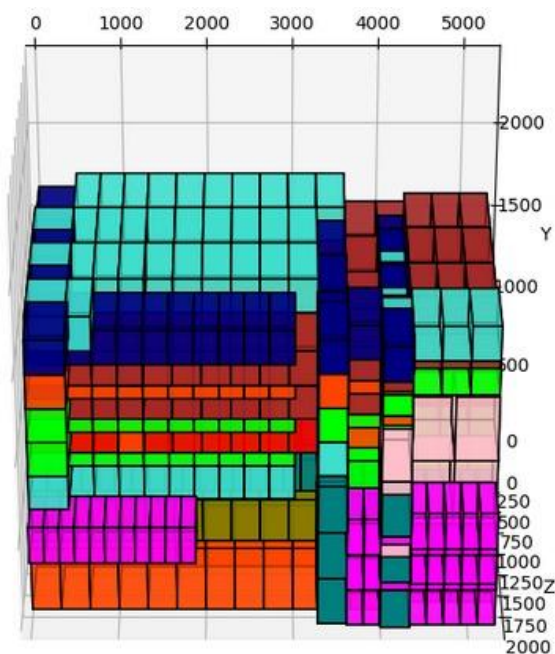


IMAGEN 3. 2 VISUALIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA (REYNA & GORDILLO,2023)

3.5.1 ANÁLISIS DE SOLUCIÓN PROPUESTA

En la solución propuesta, los resultados indican que se logra un nivel de ocupación del espacio del 72%, dejando un 28% de espacio disponible. Comparando esto con la situación actual en la que se tiene una ocupación del 85%, es evidente que existe una mejora significativa en este proceso, tanto en términos visuales como analíticos.

En otras palabras, al implementar la solución, se está obteniendo un espacio adicional del 13% en el camión en comparación con la situación actual. Esto no solo es perceptible visualmente, sino también se refleja en un análisis cuantitativo. Esta optimización del espacio de carga puede tener efectos positivos en términos de eficiencia logística y aprovechamiento de recursos.

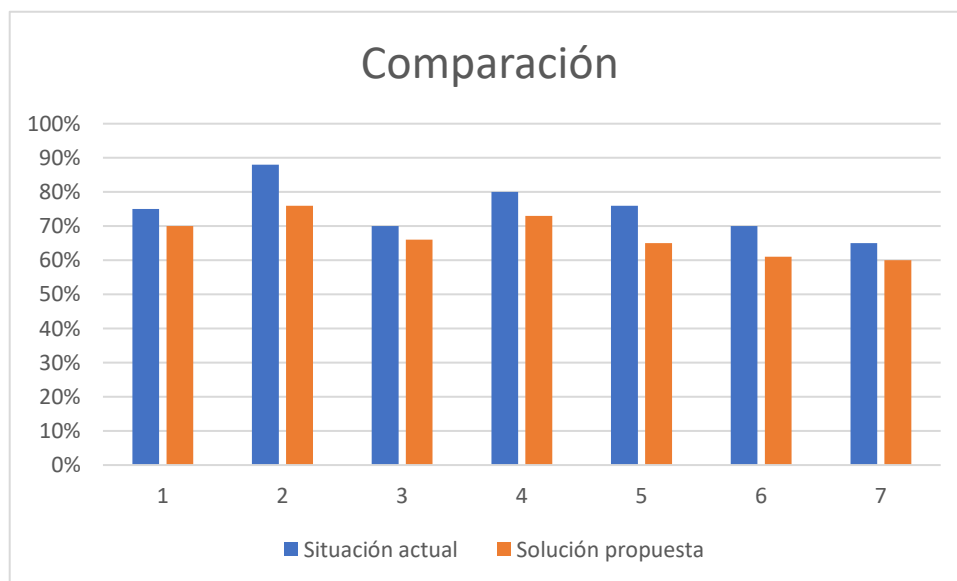


Gráfico 3. 3 HISTOGRAMA COMPARATIVO DE ESCENARIOS (REYNA & GORDILLO,2023)

En los siete escenarios diferentes presentados en el gráfico, se aprecia claramente cómo la solución propuesta sobresale en comparación con la situación actual. Un análisis detallado de estos escenarios revela que, bajo la solución propuesta, en ningún caso se alcanza una ocupación que supere el 80%, un límite crítico previamente establecido como restricción en nuestro modelo. Esto demuestra la efectividad de la solución en el cumplimiento de los criterios de ocupación deseada.

Por otro lado, en la situación actual, se identifican vehículos que exceden este umbral del 80%, lo que resalta aún más la superioridad de la solución propuesta en términos de eficiencia y cumplimiento de las restricciones establecidas. Estos hallazgos respaldan firmemente la adopción de la solución propuesta como una mejora considerable con respecto a la situación actual.

Esta representación gráfica resalta de manera evidente cómo la solución propuesta no solo mejora los niveles de ocupación, sino que también cumple con la restricción establecida, garantizando un aprovechamiento eficiente del espacio de carga.

3.6. ANÁLISIS DE COSTOS

Para realizar un análisis de costo de implementar 30 pantallas táctiles industriales de 15 pulgadas a \$650 cada una, consideraremos los costos iniciales y los costos recurrentes que se pueden derivar.

Beneficios Potenciales:

Eficiencia en la estiba: Las pantallas táctiles podrían proporcionar información en tiempo real sobre cómo optimizar la estiba de la carga en los camiones, maximizando el espacio y reduciendo los costos de transporte.

Reducción de daños: Al optimizar la estiba, se podrían reducir los daños a los productos durante el transporte.

Tiempo de carga y descarga: Las pantallas podrían ayudar a acelerar el proceso de carga y descarga al proporcionar instrucciones claras para la disposición de la carga.

Pantallas táctiles industriales de 15 pulgadas:

1. Costo inicial:

- Costo de las pantallas: 30 pantallas x \$650 = \$19,500.
- Instalación y configuración: Supongamos un costo hipotético de \$50 por pantalla. Entonces, 30 pantallas x \$50 = \$1,500.
- Software necesario para operar (si es que no viene incluido): Estimación hipotética de \$100 por pantalla. Entonces, 30 pantallas x \$100 = \$3,000.

2. Costos recurrentes:

- Mantenimiento anual o reparaciones: Estimación hipotética de \$75 por pantalla al año. Entonces, 30 pantallas x \$75 = \$2,250 anualmente.
- Actualizaciones de software: Suponiendo que se requieran actualizaciones anuales de \$50 por pantalla. Entonces, 30 pantallas x \$50 = \$1,500 anualmente.
- Consumo eléctrico: Este puede variar según la tarifa eléctrica y las horas de uso. Suponiendo un costo estimado de \$25 por pantalla al año, tenemos 30 pantallas x \$25 = \$750 anualmente.

Resumen:

Costos Iniciales:

- Pantallas: \$19,500
- Instalación: \$1,500
- Software: \$3,000
- Total inicial: \$24,000

Costos Recurrentes Anuales:

- Mantenimiento: \$2,250
- Actualizaciones de software: \$1,500
- Consumo eléctrico: \$750
- Total anual: \$4,500

Basándonos en estas estimaciones hipotéticas, el costo total inicial de implementar 30 pantallas táctiles industriales sería de \$24,000. A partir de ahí, se tendría un costo recurrente anual de \$4,500.

Cálculos:

Costo total anual de las pantallas táctiles: Costo total a lo largo de 5 años / 5 años =
Costo anual \$24,000 / 5 = \$4,800

Costo por pedido: Costo total anual / Número estimado de pedidos al año \$4,800 /
200,000 pedidos = \$0.024 por pedido

Conclusión:

Con 200,000 pedidos al año, el costo por pedido de las pantallas táctiles sería aproximadamente \$0.024. Este costo incluye la inversión inicial en las pantallas y su uso durante un año.

3.6.1 ANÁLISIS COMPARATIVOS

Imprimir pedidos:

Datos:

- Cantidad de pedidos al mes: 16,667 pedidos (200,000 pedidos al año / 12 meses)
- Resmas de papel por mes: 50 resmas de papel
- Costo por resma de papel: \$5 (hipotético)

Cálculos:

1. Cantidad total de resmas de papel necesarias al mes:

50 resmas de papel (dado)

2. Costo total de papel al mes:

Cantidad total de resmas de papel x Costo por resma de papel

50 resmas x \$5/resma = \$250

3. Costo por pedido:

Costo total de papel al mes / Cantidad de pedidos al mes

\$250 / 16,667 pedidos = \$0.015 por pedido

En resumen

Con un costo hipotético de \$5 por resma de papel, el costo por imprimir cada pedido en hojas de papel, considerando el uso de 50 resmas de hojas de papel al mes, sería de aproximadamente \$0.015 por pedido.

Para determinar después de cuántos pedidos las pantallas táctiles serían más rentables que imprimir los pedidos en hojas de papel, necesitamos comparar los costos acumulativos de ambas opciones.

Costo por pedido con pantallas táctiles: \$0.0225 (calculado previamente)

Costo por pedido al imprimir en papel: \$0.015 (calculado previamente)

La diferencia de costo por pedido entre las dos opciones es:

$$\$0.0225 - \$0.015 = \$0.0075$$

Para encontrar el punto de equilibrio, donde los ahorros de usar pantallas táctiles superarían la inversión en términos numéricos, divide el costo total de las pantallas táctiles por la diferencia de costo por pedido:

Punto de equilibrio = Costo total de las pantallas táctiles / Diferencia de costo por pedido

$$\text{Punto de equilibrio} = \$24,000 / \$0.0075 \approx 3200$$

Esto significa que después de aproximadamente 3,200 pedidos, las pantallas táctiles serían más rentables en términos numéricos que imprimir los pedidos en hojas de papel. A partir de ese punto, los ahorros por pedido con las pantallas táctiles superarían la inversión inicial.

3.7. EXPERIMENTOS NUMÉRICOS

Por supuesto, aquí tienes un análisis económico considerando la optimización de estibas y la posibilidad de utilizar camiones más pequeños para reducir los costos de flete:

1. Programa de Optimización de Estibas: La empresa implementa un programa de optimización de estibas que permite aprovechar al máximo el espacio disponible en los camiones. Como resultado, se ha determinado que algunos pedidos pueden ser enviados en camiones más pequeños sin comprometer la seguridad de la carga.

2. Camiones Pequeños: Los camiones más pequeños tienen un costo de flete menor en comparación con los camiones grandes. El costo de flete en camiones pequeños es de \$500 por envío, mientras que en camiones grandes es de \$800 por envío.

Análisis

1. Optimización de Estibas:

Al utilizar un programa de optimización de estibas, la empresa puede aumentar la eficiencia en la carga de camiones, lo que podría permitir la reducción del espacio no utilizado en cada envío. Esto significa que algunos pedidos pueden ser reubicados en camiones más pequeños sin comprometer la seguridad de la carga.

2. Reducción de Costos de Flete:

Compararemos los costos de flete actuales de camiones grandes con los costos de flete utilizando camiones pequeños, teniendo en cuenta los pedidos que pueden ser reubicados.

- Costo de Flete con Camiones Grandes: $\$800/\text{envío} \times 10 \text{ envíos/mes} = \$8000/\text{mes}$

- Costo de Flete con Camiones Pequeños: $\$500/\text{envío} \times 10 \text{ envíos/mes} = \$5000/\text{mes}$

Ahorro Potencial: $\$8000/\text{mes} - \$5000/\text{mes} = \$3000/\text{mes}$

En resumen

En este escenario hipotético, la implementación de un programa de optimización de estibas permitió a la empresa identificar pedidos que pueden ser enviados en camiones más pequeños sin comprometer la seguridad de la carga. Esto llevó a un ahorro significativo en los costos de flete, reduciendo los gastos mensuales en alrededor de \$30,000.

La optimización de estibas no solo permite una mejor utilización del espacio en los camiones, sino que también puede tener impactos positivos en términos de reducción de emisiones de carbono y mejoras en la eficiencia de la cadena de suministro.

Es importante tener en cuenta que la implementación exitosa de un programa de optimización de estibas requerirá inversión en software, capacitación y posiblemente ajustes en los procesos internos. Además, es fundamental asegurarse de que la reubicación de pedidos en camiones más pequeños no cause retrasos en la entrega o problemas de calidad en el servicio.

CAPITULO 4

4.1. CONCLUSIONES

El análisis detallado de los procedimientos actuales y la identificación precisa de variables y restricciones que impactan el proceso de carga de camiones han proporcionado una comprensión profunda de los factores críticos que influyen en la eficiencia y la productividad logística de la empresa. Esta exploración ha revelado elementos clave, como características de productos, dimensiones y pesos, junto con regulaciones de seguridad y características de los camiones.

Estos descubrimientos han permitido una vista completa de la logística de la empresa y han guiado la formulación de soluciones prácticas, incluida la implementación de un modelo matemático de optimización y la propuesta de un aplicativo para la gestión de la carga.

En síntesis, este análisis ha sido fundamental para abordar los desafíos logísticos al proporcionar conocimientos profundos que respaldan decisiones informadas y mejoras concretas en la eficiencia y rentabilidad del transporte y distribución de productos.

La exitosa implementación del modelo matemático diseñado para optimizar la carga de camiones representa un logro crucial en la mejora de la eficiencia operativa y la gestión de recursos en la empresa. La incorporación de variables clave como tipo de productos, dimensiones, pesos y restricciones de camiones y seguridad ha llevado a una distribución más efectiva de la carga.

Este modelo ha logrado maximizar la capacidad de carga de los camiones, reduciendo el espacio no utilizado y minimizando costos asociados con viajes innecesarios. Además, su capacidad de adaptación demuestra su utilidad a largo plazo y su capacidad para abordar los cambios en el entorno operativo.

En resumen, la implementación exitosa del modelo matemático ha permitido mejoras notables en la eficiencia y la planificación del proceso de carga de camiones. Su enfoque

basado en datos y optimización ha demostrado ser esencial para enfrentar desafíos logísticos complejos y mejorar la operación global de la empresa.

La evaluación de la eficiencia entre el escenario actual de carga de camiones y la solución propuesta a través del aplicativo ha revelado resultados notables. Se ha observado una reducción significativa del desperdicio de espacio en los camiones al implementar la solución sugerida.

Esta mejora no solo implica una utilización más efectiva de los recursos disponibles, sino que también respalda la eficiencia en la distribución de productos y la reducción de costos asociados. La comparación entre ambos escenarios valida la efectividad de la alternativa propuesta en la optimización del proceso de carga y destaca su contribución a una operación logística más eficiente y sostenible.

4.2. RECOMENDACIONES

Hay que asegurar que el equipo operativo esté capacitado en el uso del aplicativo y que se fomente una adopción continua. Ofrecer sesiones de capacitación y soporte técnico para garantizar que todos los miembros del equipo comprendan y aprovechen al máximo la nueva herramienta.

Establecer estándares claros y uniformes para la medición de dimensiones de cajones. Esto incluye definir cómo medir, qué herramientas utilizar y qué unidades de medida emplear. Ya que definir cómo medir y qué herramientas utilizar garantiza que todos los involucrados tengan una comprensión común de los procedimientos. Esto evita interpretaciones erróneas o ambiguas que podrían afectar la precisión y la comparabilidad de los datos.

Implementar etiquetas de identificación únicas en cada cajón, vinculadas a una base de datos que almacene las dimensiones correspondientes. Esto permitirá una identificación rápida y precisa durante el proceso de carga.

Implementar un sistema de recopilación y registro de medidas de los cajones de los camiones de manera estructurada y estandarizada. Esto implicaría medir y registrar las dimensiones de los cajones de cada camión de manera precisa y consistente, y luego integrar esta información en el aplicativo de almacenamiento de carga.

Este enfoque tendría varias ventajas:

- **Precisión en la Planificación:** Al tener las medidas exactas de los cajones de cada camión en la base de datos, el modelo matemático de optimización puede realizar cálculos más precisos para encontrar la disposición óptima de los productos.
- **Reducción de Errores:** Al contar con medidas estándar y precisas, se minimizarían los errores de cálculo al cargar los productos en los camiones.
- **Actualizaciones y Flexibilidad:** El sistema podría permitir la actualización de medidas en caso de cambios en la flota de camiones o modificaciones en los cajones.
- **Integración Completa:** Integrar las medidas de los cajones con el aplicativo permitiría una planificación más holística y completa. Se podrían considerar tanto las características de los productos como las dimensiones de los cajones para lograr una optimización total.

Establecer un sistema de monitoreo constante para evaluar la eficacia del aplicativo y recopilar datos en tiempo real. Utilizar estos datos para identificar oportunidades de mejora y ajustar el modelo matemático según sea necesario para abordar cambios en la demanda o restricciones.

Evaluar la posibilidad de integrar el aplicativo con otros sistemas de la empresa, como el sistema de gestión de inventario y el software de planificación de rutas. Esto permitirá una sincronización eficiente de datos y procesos, optimizando aún más la cadena de suministro.

Establecer canales de retroalimentación para que el equipo de carga y otros involucrados proporcionen sus comentarios sobre la solución. Esto permitirá ajustes y refinamientos basados en las experiencias y necesidades reales de los usuarios.

Realizar un seguimiento del impacto ambiental de la solución implementada, particularmente en términos de reducción de emisiones y uso más eficiente de recursos. Esto no solo respaldará los objetivos de sostenibilidad de la empresa, sino que también podría utilizarse como una ventaja competitiva.

En general, estas recomendaciones buscan asegurar la efectividad a largo plazo de la solución implementada y garantizar que la empresa continúe mejorando su eficiencia logística de manera sostenible.

4.3. BIBLIOGRAFÍA

- Fasano, G. (2006). A MIP-based heuristic for non-standard 3D-packing problems. *European Journal of Operational Research*, 175(2), 592-614.
- Pousa, F. (2018). Problema de empaquetamiento con. Universidad de Buenos Aires.: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. ("La Facultad | Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la ...")
- Arias, N. B. (2012). Estudio del problema de corte y empaquetamiento aplicado en una empresa de distribución. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84923910011>
- De Sevilla Departamento De Organización Industrial Y Gestión De Empresas, U., II. (2007). Una búsqueda tabú para el Bin Packing Problem. idUS - Depósito de Investigación Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/68117>
- Monaci, M.; Toth, P. (2006). A Set-Covering-Based Heuristic Approach for Bin-Packing Problems. *INFORMS Journal on Computing*, Vol. 18, No. 1, pp. 71-85.