

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Logística y Transporte

Diseño de un modelo de asignación de andenes que minimice el recorrido de almacenamiento en función del diseño del almacén y bultos recibidos

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Logística y Transporte

Presentado por:

David Francisco Chaves Sánchez

Jessenia Alexandra León Ruiz

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

Dedico con toda mi alma este trabajo a mi familia, ya que siempre me han motivado para superarme día a día, ellos son quienes me han facilitado el camino y de todo corazón espero que Dios nos siga bendiciendo para compartir muchas alegrías más juntos.

David Chaves.

DEDICATORIA

Mi proyecto de graduación va dedicado a todos mis familiares y amigos por su apoyo incondicional; a mi esposo y mis hijos quienes me han impulsado a ser mejor cada día. En especial dedico este trabajo a mi abuelita Lucinda que está ahora en el cielo. Ella aparte de ser mi abuelita también tomó un rol importante en mi vida la de ser mi madre, mi amiga y la persona que siempre me alentaba a seguir adelante a pesar de las adversidades.

Jessenia León R.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la sabiduría para seguir por el camino correcto, a mi compañera Jessenia quien demostró ser una excelente persona y gran amiga, a mi padre ya que con su apoyo y motivación pude llegar hasta estas instancias de mi vida, y sobre todo un agradecimiento especial a mi madre ya que siempre ha estado pendiente de mi formación académica, además de que siempre ha sido mi principal motivación para culminar esta etapa.

David Chaves

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios que siempre ha guiado mis decisiones, a mis profesores que me impartieron sus conocimientos y de esta manera contribuyeron para alcanzar el propósito del presente proyecto.

De la misma manera quiero agradecer a David por el compromiso que demostró durante todo el proyecto, a pesar de no conocernos siempre estuvo dispuesto a escucharme.

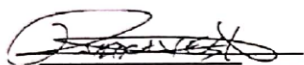
Un profundo agradecimiento a todos mis familiares que siempre estuvieron prestos a cuidar a mis hijos cuando lo necesité; a mis amigos que siempre estuvieron aconsejándome en los momentos más difíciles de la tesis.

Finalmente, agradezco a mi Tía Adelita que ha acompañado y apoyado a lo largo de mi vida estudiantil.

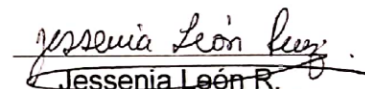
Jessenia León R.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución *David Francisco Chaves Sánchez y Jessenia Alexandra León Ruiz* doy(damos) mi(nuestro) consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



David Chaves.



Jessenia León R.

EVALUADORES

.....
Mgtr. Carlos Ronquillo.

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Mgtr. David De Santis.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Los problemas que atraviesan las empresas son cada vez más diversos, pueden ser problemas muy sencillos o complicados de resolver, sin embargo, está en la capacidad de cada jefe operativo procurar optimizar al máximo los recursos requeridos para algún propósito.

Debido a esto, se realizó un modelo matemático que asigna de manera óptima a los proveedores en las puertas de recepción de un centro de distribución, de manera que se puedan optimizar las distancias o tiempos empleados en almacenar el volumen recibido por el proveedor.

El modelo contempla desde que el camión de proveedor descarga el pedido en las playas de recepción hasta que este es almacenado en la zona destinada en las estanterías. En el análisis realizado dentro de la documentación incluye el cálculo de la matriz de distancias donde se utiliza la métrica de Manhattan para a partir de ella encontrar la matriz de tiempos con la que trabaja el modelo matemático, las delimitaciones del modelo matemático con respecto los requerimientos de la empresa, la ejecución del modelo con datos reales, la comprobación de los resultados con los directivos, y un análisis de costos donde se hace la comparativa de la situación actual y la situación propuesta con el modelo matemático, logrando evidenciar que se obtendría una reducción de costos operativos de un 16.4% con la asignación propuesta para la semana de análisis.

Palabras clave: *layout, programación entera mixta, puertas de recepción, modelo matemático, productos secos, tiempo de atención.*

ABSTRACT

The problems that companies are going through are increasingly diverse, they can be very simple or complicated problems to solve, however it is in the capacity of each operational manager to try to optimize the resources required for some purpose as much as possible.

Due to this, a mathematical model was carried out that optimally assigns the suppliers at the reception doors of a distribution center, so that the distances or times used to store the volume received by the supplier can be optimized.

The model contemplates from when the supplier truck unloads the order on the reception beaches until it is stored in the designated area on the shelves. The analysis carried out within the documentation includes the calculation of the distance matrix where the Manhattan metric is used to find the time matrix with which the mathematical model works, the delimitations of the mathematical model with respect to the requirements of the company, the execution of the model with real data, the verification of the results with the managers, and a cost analysis where the comparison of the current situation and the proposed situation with the mathematical model is made, achieving evidence that a 16.4% reduction in operating costs with the proposed allocation for the analysis week.

Keywords: Layout, Mixed Integer Programming, reception doors, Mathematical Model, dry products, attention time.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	III
EVALUADORES	VII
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ABREVIATURAS	III
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Justificación del problema.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Marco teórico.....	4
1.4.1. Estado del arte	4
1.4.2. Marco Conceptual	7
1.4.2.1. Modelo matemático.....	7
1.4.2.2. Programación Lineal	8
1.4.2.3. Método Simplex	9
1.4.2.4. Programación Lineal Entera.....	9
1.4.2.5. Branch and Bound (B&B).....	10
1.4.2.6. Modelo de asignación	10
1.4.2.7. Método húngaro.....	11

1.4.2.9. Centro de distribución	13
CAPÍTULO 2.....	15
2. METODOLOGÍA.....	15
2.1. Técnicas de investigación	15
2.1.1. Levantamiento de información.....	16
2.1.1.1. Entrevista por videoconferencia	16
2.1.1.2. Visita técnica.....	17
2.1.2. Análisis de la información levantada.....	17
2.2. Recopilación de los datos	18
2.3. Descripción del modelo.....	24
2.4. Uso de software.....	26
2.5. Consideraciones medioambientales	26
2.6. Fases del proyecto.....	27
2.7. Cronograma de actividades	29
CAPÍTULO 3.....	30
3. RESULTADOS	30
3.1. Gestión de la base de datos	30
3.1.1. Procedimiento para cumplir con los objetivos del proyecto.....	30
3.2. Matrices obtenidas.....	31
3.2.1. Matriz de tiempos de cada zona a cada puerta.....	31
3.2.2. Matriz de volúmenes semanal	31
3.2.3. Matriz de viajes semanal	32
3.2.4. Matriz binaria	32
3.3. Resultado del modelamiento matemático	33
3.3.1. GAMS.....	33
3.3.2. Python	35
3.3.2.1. Diseño de la interfaz gráfica.....	35

3.4.	Análisis de los resultados.....	37
3.4.1.	Programación del horario	38
3.5.	Análisis de costos	40
3.5.1.	Situación actual	40
CAPÍTULO 4	41
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
4.1.	Conclusiones	43
4.2.	Recomendaciones	44
REFERENCIAS	45
ANEXOS	46
APÉNDICES	56

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
LP	Linear Programming
MIP	Mixed Integer Programming
CEDI	Centro de Distribución
BB	Branch and Bound
PEM	Programación Entera Mixta
PEB	Programación Entera Binaria
HEA	Algoritmos Híbridos Evolutivos
GAMS	General Algebraic Modeling System
GAP	brecha

SIMBOLOGÍA

m³ metro cúbico

tn tonelada

kg kilogramo

h horas

min minutos

s segundos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Representación gráfica del problema de asignación.	5
Figura 1.2 Representación la distancia de Manhattan vs la distancia Euclidiana	12
Figura 2.1 Proceso de Recepción a proveedores.....	19
Figura 2.2 Diseño del almacén de la empresa	22
Figura 2.3 Representación de las medidas.	23
Figura 2.4 Fases del proyecto.....	28
Figura 2.5 Cronograma del proyecto	29
Figura 3.1 Valor de la Función Objetivo en minutos.	34
Figura 3.2 Asignación de andenes por proveedor	34
Figura 3.3 interfaz gráfica del programa de asignación.	36
Figura 3.4 Ordenamiento del resultado.	38
Figura 3.5 Ejemplo del horario obtenido a partir de la ejecución del programa.	39
Figura 3.6 Datos y costos unitarios de recepción y almacenamiento.	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Cronograma ejemplo de recepción por andén.....	19
Tabla 2.2 Ejemplo de base de datos otorgada por la empresa.....	20
Tabla 2.3 Pocisiones pallets por zona.	21
Tabla 2.4 Matriz de distancias (m).	23
Tabla 2.5 Matriz de tiempo (min).....	24
Tabla 3.1 Ejemplo de matriz de tiempos.	31
Tabla 3.2 Ejemplo de matriz de volúmenes.....	31
Tabla 3.3 Ejemplo de matriz de viajes.....	32
(Elaboración propia).....	32
Tabla 3.4 Ejemplo de matriz binaria que relaciona a los camiones proveedores con las diferentes zonas.	32
Tabla 3.5 Productividad por puerta de la solución propuesta.	37
Tabla 3.6 Costos relacionados con el área de recepción y almacenamiento de la situación actual	41
Tabla 3.7 Costos de transportar pallet por día.....	41
Tabla 3.8 Costos relacionados con el área de recepción y almacenamiento de la propuesta.....	42

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio propone diseñar un modelo de asignación con la finalidad de abordar los problemas comunes en los tiempos de recepción y almacenamiento que presentan algunos Centro de Distribución (CEDI). La asignación de puertas para la recepción de los camiones proveedores de mercancías suele ser una actividad que se realiza de forma empírica, sin embargo, este estudio busca generar una nueva propuesta que cumpla con todos los requerimientos en base al diseño de la bodega. Con esto se quiere decir que se busca encontrar la mejor asignación de andenes de recepción a camiones proveedores que garantice el recorrido mínimo de los productos dentro del almacén. El estudio tiene la intención de resolver las observaciones anteriores haciendo uso de herramientas informáticas que permitan su desarrollo.

1.1. Descripción del problema

Para la presente investigación se cuenta con una empresa multinacional que se dedica a la venta de productos de consumo hogareño y personal. En 1960 se posiciona en el mercado ecuatoriano como una de las cadenas de supermercados con mayor aceptación por gran parte de la población debido a sus módicos precios. El CEDI de la empresa está ubicado en la provincia del Guayas. Este distribuye productos secos o precoderos a las 211 tiendas situadas en 22 provincias del Ecuador. Cuenta con 52 puertas para recepción y despacho, de las cuales 20 son destinadas únicamente para la recepción. También cuenta con aproximadamente 632 proveedores.

Este estudio se realiza debido a que el CEDI presenta demoras en los procesos de descarga y traslado de bultos dentro de sus instalaciones. En la actualidad no existe un modelo de asignación de puertas de recepción que garantice el recorrido mínimo de los productos dentro del almacén. En contraste con lo anterior, el almacén

presenta menor productividad a causa de los atrasos generados en los tiempos de recepción de mercadería.

La bodega está clasificada en zonas en función al flujo de mercancías y la naturaleza del producto (contaminantes o no contaminantes). Los jefes de bodega procuran que, al momento de recibir mercancía, el camión proveedor sea asignado al andén más cercano de la ubicación de almacenamiento. Dicho de otra manera, se tiene una correcta distribución dentro del área de almacenamiento, sin embargo, al momento de asignar el andén de forma empírica implica un aumento en el tiempo de recepción de los productos. Además, una de las normativas para controlar la contaminación cruzada es el impedimento de recibir dos tipos de mercancías en andenes consecutivos. Esto indica que se deben tomar en cuenta más restricciones dentro del modelo matemático.

El proceso de recepción de pedidos inicia cuando el proveedor genera y recibe la orden de compra. Una vez que esté realizada y autorizada la orden, éste procede a agendar la cita para la recepción del producto. Luego, el conductor del camión debe presentar en la garita la orden de compra, la liquidación y el turno registrado para la recepción. Existen demoras en la atención de proveedores cuando los vehículos están esperando en el patio del almacén, ya que el personal debe verificar la disponibilidad de andenes para la recepción. Esto indica que los andenes no tienen una clasificación específica. Es decir, que se los usa de acuerdo con los requerimientos momentáneos. La ausencia de un procedimiento óptimo provoca que exista descoordinación en las operaciones diarias. Por lo que es necesario la implementación de herramientas informáticas que garanticen el cumplimiento de los objetivos planteados.

Por otra parte, el proceso de almacenamiento inicia una vez que las mercancías son descargadas de los camiones proveedores y se encuentran en las “playas” del CEDI, estas pueden llegar paletizadas o al granel. En caso de que la mercancía llegue al granel se procede a

paletizar, lo que demanda mayor tiempo antes de su almacenamiento en la bodega. Después, el sistema de manejo de inventarios implementado por el CEDI emite un código de barra a cada tipo de mercancía para que asigne una ubicación en la bodega. Finalmente, un operador de montacargas almacena el pallet en el lugar destinado. Cabe recalcar que en todo el proceso se toma en consideración los tiempos que se requieren para realizar cada actividad.

1.2. Justificación del problema

Indiscutiblemente es importante resolver problemas de este tipo debido a las necesidades que tienen las medianas y grandes empresas. Cabe mencionar que las instituciones dedicadas a la recepción de productos para su posterior almacenamiento y distribución, siempre se encuentran en la búsqueda de maximizar los beneficios para su evolución y desarrollo. Acorde con lo anterior se busca optimizar las actividades que se realizan en el centro de distribución, a través del diseño un modelo de asignación con el propósito de incrementar la productividad en los procesos internos.

Lo anterior quiere decir que la validez del proyecto se centra en la ejecución del modelo de asignación de puertas de recepción, con la finalidad de disminuir los tiempos de permanencia de los vehículos en el andén, los tiempos relacionados con la entrega de productos y los tiempos de operación de los montacargas. De esta manera se tienen efectos positivos sobre las emisiones CO_2 puesto que el CEDI representa un eslabón con alto impacto al medio ambiente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un plan de asignación de traslado de productos de los camiones hacia los andenes del CEDI, mediante la implementación y uso de un modelo matemático para minimizar los tiempos de recepción y almacenamiento.

1.3.2. Objetivos específicos

- Construir una matriz de tiempos en función de los andenes y los racks a partir de la base de datos proporcionada por el CEDI para usarla dentro del modelo.
- Formular el modelo matemático que permita minimizar el tiempo de traslado al momento de la descarga y almacenamiento de los productos.
- Analizar los resultados del modelo propuesto con la situación actual del almacén en términos de tiempos y costos relacionados con la operación de descarga y almacenamiento de productos.
- Desarrollar una interfaz gráfica en el programa Python que permita encontrar un cronograma de atención a proveedores por semana.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Estado del arte

Es necesario conocer sobre el problema de asignación, “El problema de asignación es un caso especial del problema de transporte en donde los orígenes son los trabajadores y los destinos son las tareas. Siempre y cuando la oferta y demanda sean igual a uno” (Taha & Pozo, 2004, p. 200). Dicho en otras palabras, se debe relacionar a los trabajadores con las tareas existentes una sola vez y viceversa. El modelo puede ser aplicado cuando se requiera la asignación de empleados a tareas, fábricas a productos, vendedores a territorios, andenes a vehículos, muelles a barcos, etc. El objetivo del modelo es encontrar la asignación óptima que minimice los costos totales. En la figura (1.1) se observa

los nodos de oferta y demanda que en la problemática son los andenes y los vehículos respectivamente.

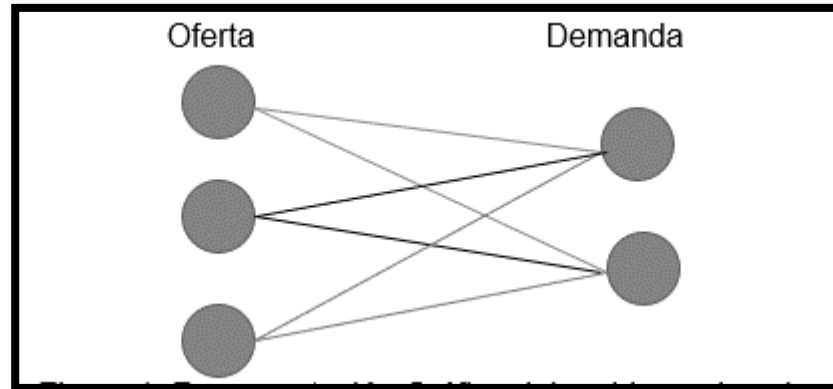


Figura 1.1 Representación gráfica del problema de asignación.

Fuente: (Taha & Pozo, 2004)

En cuanto a los métodos de solución la mayoría de los estudios emplean algoritmos híbridos evolutivos (HEA) son aplicados por la complejidad del problema y la vecindad variable. (Peng et al., 2020) menciona que el HEA ofrece resultados computacionales más eficaces dentro del campo de las matemáticas discretas. Al contrario, la solución tipo Simplex es un método analítico exacto e iterativo y de mejor rendimiento que compite con solucionadores de última generación a pesar de su simplicidad como lo explica (Berghman et al., 2014). En el mismo se indica que el modelo lineal entero usado para resolver el problema de asignación de puertas presenta soluciones de bajo tiempo computacional por lo que consideramos que es fundamental para la investigación.

Por otro lado, (Zouhaier & Said, 2017) presenta un modelo de asignación de muelles por un período de tiempo para la descarga de productos. Se menciona sobre la programación y tiempos de llegada de camiones para un terminal de cross-docking (trasbordo) considerando un sistema de asignación de citas, lo que

tiene analogía con los datos de la problemática propuesta. La analogía para el presente estudio es que se consideren los tiempos relacionados con el proceso de descarga y almacenaje en función de las citas separadas por los proveedores.

Relacionado con el párrafo anterior, (Enderer et al., 2017) expone sobre la asignación de puertas de entrada en un cross-docking y el problema de enrutamiento vehículos y asignación de andenes (DAVRP) para los vehículos que salen hacia los destinos. El objetivo de estudio es minimizar los costos de manipulación y transporte de mercancías. Se desarrolla dos tipos de formulación, el algoritmo de generación de columna que se resuelve por el método Simplex y la heurística que calcula los límites inferior y superior para relajar la función objetivo. La investigación se relaciona con el proyecto debido a que se refiere a la asignación de andenes de un almacén para el área de recepción de productos.

(Bozer & Carlo, 2008) plantean un estudio sobre las asignaciones de puertas para los tráileres salientes y entrantes de un terminal. En el mismo se presenta un procedimiento heurístico, fundamentado en el Recocido Simulado (SA) para poder determinar las asignaciones de puertas con el objetivo de minimizar la carga de trabajo de manipulación de materiales, también se usó un problema lineal de enteros mixtos (MILP) para resolver el problema de asignación rectilínea cuadrática. Ambas investigaciones se enfocan en cómo resolver (MILP) porque se tienen variables binarias independientes.

En conclusión, es importante revisar la literatura de los modelos matemáticos que se pueden implementar para la problemática del proyecto. Con esto se quiere decir que se identificaron métodos exactos e iterativos (método Simplex), así como también el planteamiento de programación lineal y entera mixta al tener variables de decisión de tipo binarias en el problema.

En definitiva, para el proyecto se debe considerar la ejecución de los procesos dentro de almacén, los costos asociados y el personal involucrado para llevar a cabo las actividades. Con el fin de encontrar una solución para el problema de asignación de andenes y a su vez garantizar la eficiencia en los procesos de la empresa se hace uso de tecnologías que garanticen las soluciones óptimas. Todo con la finalidad de mantener la productividad y generar valor agregado ante la competencia.

1.4.2. Marco Conceptual

1.4.2.1. Modelo matemático

Los modelos matemáticos surgen por la necesidad de representar los problemas presentes en las actividades diarias mediante símbolos y expresiones matemáticas. Para representar la esencia de los problemas se deben considerar n decisiones relacionadas entre sí, conocidas como variables de decisión (x_1, x_2, \dots, x_n) para las cuales se deben determinar sus valores. La función matemática que mide el desempeño adecuado de estas variables de decisión se denomina función objetivo, por ejemplo $P = 3x_1 + 2x_2 + \dots + 5x_n$. Luego, se debe considerar en términos matemáticos todos los obstáculos que se tengan sobre las variables de decisión (Taha & Pozo, 2004).

Estas limitaciones son conocidas como restricciones que por lo general son ecuaciones o desigualdades. Los coeficientes que acompañan a las variables de la función objetivo y restricciones se conocen como parámetros del modelo. Con esto se quiere decir que la finalidad del modelo matemático es encontrar los valores que deben tomar las variables de decisión de tal manera que se minimice o maximice la función objetivo, sujeta a restricciones dadas por el problema (Frederick S. Hiller, 2010).

1.4.2.2. Programación Lineal

La programación lineal (PL) es uno de los avances científicos con mayor relevancia del siglo XX, es una herramienta que se usa con recurrencia debido a que permite el ahorro de miles o millones de dólares en muchas empresas (Frederick S. Hiller, 2010).

Cuando se menciona el termino lineal se refiere a que las ecuaciones del modelo son funciones lineales. Por otro lado, la palabra programación se define como un sinónimo de planeación y no se relaciona como un término computacional. En otras palabras, la programación lineal se refiere a la planeación de actividades con la finalidad de obtener resultados que alcancen una meta en específico.

Modelo matemático del Problema de Programación Lineal

Maximizar o Minimizar

$$F = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (1.1)$$

Sujeta a las restricciones

$$\begin{cases} b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \dots + b_{1n}x_n \geq b_1 \\ b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \dots + b_{2n}x_n \leq b_n \\ \vdots \\ b_{n1}x_1 + b_{n2}x_2 + \dots + b_{nn}x_n = b_n \end{cases} \quad (1.2)$$

$$x_j \in \mathbb{R}, j = 1, 2, \dots, n \quad (1.3)$$

El objeto del modelo matemático es encontrar valores reales que deben tomar las variables de decisión como se muestra en la ecuación (1.3) de tal manera que se minimice o maximice la función objetivo denotada en la ecuación (1.1), sujeta a restricciones dadas por el problema como se menciona en la ecuación (1.2).

1.4.2.3. Método Simplex

El método simplex es un procedimiento general de programación lineal desarrollado por George Dantzing en 1947. La naturaleza del método simplex es un procedimiento algebraico que se fundamenta en conceptos geométricos.

Espacio de soluciones del método simplex se asocia a una metodología iterativa esto quiere decir que en cada paso se mejoran las soluciones. Cada iteración se desplaza a un nuevo resultado con la posibilidad de mejorar la función objetivo. El procedimiento culmina cuando ya no se pueden encontrar otras mejoras (Frederick S. Hiller, 2010).

1.4.2.4. Programación Lineal Entera Mixta

En el modelo de programación lineal entera las variables pueden tomar valores enteros. Mientras que en la programación lineal entera mixta las variables son de tipo continuas y enteras, es decir que pueden tomar valores enteros y decimales.

Por otro lado, existen otras variables de decisiones tipo si y no, las variables de este tipo se las denomina binarias. Dicho lo anterior se pueden presentar problemas que aborden solo variables de este tipo, denominados programación entera binaria (PEB). Así, por ejemplo, se tiene $x_1 \geq 0$, $x_2 \geq 0$ y $x_3 \in \{0,1\}$ en donde x_1 , x_2 son variables enteras no negativas y x_3 es una variable binaria que toma valores de 0 o 1.

1.4.2.5. Branch and Bound (B&B)

Es un algoritmo de ramificación y acotamiento que fue desarrollado por primera vez por A. Land y G. Doig en 1960 para resolver los problemas de programación lineal entera y mixta. Luego, en 1964 E. Balas propuso un caso especial basado en el algoritmo general, debido a la necesidad de resolver problemas de programación lineal entero con variables binarias puras. Este algoritmo se llamó algoritmo aditivo porque realizan cálculos sencillos de suma y resta (Taha & Pozo, 2004).

El algoritmo genera de manera recurrente restricciones adicionales con el objetivo de encontrar soluciones enteras para las variables de decisión.

1.4.2.6. Modelo de asignación

“El problema de asignación es un caso especial que usa la programación lineal, en donde se busca la manera de asignar los recursos disponibles para que realicen tareas específicas al menor costo posible” (Frederick S. Hiller, 2010).

Modelo matemático

Conjuntos

$i = 1, 2, \dots, n;$ conjunto de recursos

$j = 1, 2, \dots, n;$ conjunto de tareas

Variable de decisión

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si se asigna } i \text{ para la tarea } j \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad (1.4)$$

Función Objetivo

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1.5)$$

Restricciones

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1; \text{ para } i = 1, 2, \dots, n \quad (1.6)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1; \text{ para } j = 1, 2, \dots, n \quad (1.7)$$

$$x_{ij} \geq 0; \forall i, j$$

$$x_{ij} \text{ binaria; } \forall i, j$$

El conjunto de restricciones (1.6) especifica que cada asignado realice una sola tarea, mientras que el segundo conjunto de restricciones (1.7) requiere que cada asignación sea realizada por un solo asignado. También se considera la matriz c_{ij} dentro de la función objetivo (1.5), se consideran los costos incurridos para que el recurso i realice la tarea j .

1.4.2.7. Método húngaro

Llamado así debido a que sus creadores fueron los matemáticos húngaros Harold W. Kuhn y James Munkers, en el año 1955. Este método se emplea para resolver problemas de asignación. "Este algoritmo al igual que el modelo de transporte tienen su origen del método simplex" (Taha & Pozo, 2004).

Los pasos principales del método húngaro se describen a continuación:

Paso 1. En la matriz de costos $m \times m$ se debe encontrar el menor elemento de cada fila, posteriormente se crea una nueva matriz restando este valor encontrado a todos los elementos de cada fila respectivamente. Luego, a la nueva matriz obtenida se debe encontrar el menor elemento (sin considerar el cero) en cada columna, después, se crea una nueva matriz restando este valor encontrado a todos los elementos de cada fila menos las que ya tienen un

valor de cero, la matriz obtenida se la conoce como matriz de costos reducida.

Paso 2. En la matriz de costos reducida se resaltan las filas y columnas que contengan cero, si el número de trazos es igual a m , entonces hay una solución óptima en los ceros resaltados en la matriz, si son menos de m trazos se procede al Paso 3

Paso 3. De la matriz de costos reducida y resaltada del paso anterior, se obtiene el menor valor de los números no resaltados y se procede a restar este valor a los números no resaltados y sumarlo en los valores resaltados. Repita el Paso 2 (Winston, 2005).

1.4.2.8. Distancia de Manhattan

La distancia de Manhattan es una métrica de medición que se emplea para calcular de manera más real la distancia que existe desde un punto a hasta un punto b. A diferencia de la distancia euclidiana, en esta métrica se consideran las distancias de los catetos que se forman al unir los dos puntos mediante un triángulo rectángulo. En la figura 1.1 se ilustra lo explicado.

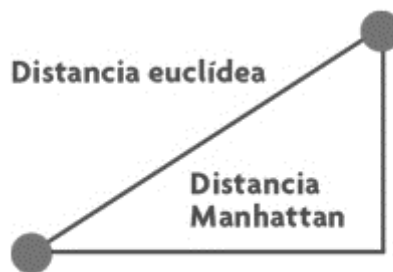


Figura 1.2 Representación la distancia de Manhattan vs la distancia Euclidiana

Fuente: (Grima, 2017)

Para hallar la distancia entre dos puntos usando la métrica de Manhattan debemos hallar la suma de los valores absolutos de la diferencia de sus componentes coordenados, es decir, representándolo matemáticamente obtenemos la siguiente expresión:

$$\sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (1.1)$$

En la expresión (1.1), x_i es la componente de la coordenada de x de dimensión i . Por otra parte y_i es la componente de la coordenada de y de dimensión i . (Rodríguez, 2005)

1.4.2.9. Centro de distribución

Es el espacio físico que permite ubicar, mantener y manipular mercancías y materiales. Para ciertos casos es considerado como un punto de paso en donde se fracciona el flujo de materiales para ser distribuidos en unidades que requieran los clientes (Mora García, 2011).

Es necesario entender las actividades relacionadas con un centro de distribución. A continuación, se detallan las características de cada uno:

Recepción: El proceso de recepción no solo comprende la descarga de la mercancía, sino que también esta debe ser revisada y validada para luego ser puesta en zonas de espera antes de ser almacenadas.

Almacenamiento: En esta área se guarda, protege y se conserva la mercancía por un periodo de tiempo determinado para facilitar las actividades de despacho.

Picking: Implica en clasificar los pedidos de tal manera que se desplace en menor tiempo posible la dentro del almacén antes de ser despachada.

Packing: Es actividad que se realiza para empacar la mercadería de acuerdo con las necesidades del cliente.

Despacho: Es la salida de productos hacia los clientes. Este punto es crítico para los CD ya que de este impacta sobre la calidad del servicio ofrecido.

Muelles: Son espacios que permiten el acceso de los productos hacia el almacén. También se conoce como puertas o andenes.

Estanterías: Las estanterías permiten mayor nivel de almacenamiento, aunque demandan de mayor personal y equipo que según el tipo de almacén. Por otro lado, se mejora los stocks y la posibilidad de almacenar una variedad de productos.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El propósito de este capítulo es exponer las técnicas de investigación utilizadas para la recopilación de los datos del problema. En este se detalla el análisis de la información levantada con la intención de modelar el problema de asignación de andenes que permita cumplir con los objetivos planteados en el proyecto. Luego se describió el software informático empleado para encontrar la solución óptima al problema de la empresa, lo que permitió que después se presente el análisis correspondiente a la operación de descarga y almacenamiento de los productos en el CEDI. Finalmente se presentaron las consideraciones medioambientales que se establecieron para el desarrollo del proyecto.

2.1. Técnicas de investigación

En la actualidad el país se encuentra aún inmerso en la pandemia SARS-COV2, por lo que para recabar información del presente trabajo se optó por la entrevista. Sin embargo, la empresa en estudio permitió realizar una visita técnica al CEDI para observar a detalle los procesos involucrados con el problema.

Las herramientas seleccionadas para el levantamiento de información fueron la entrevista y la observación. Estas herramientas son de enfoque cualitativo porque toda información del problema proviene de la entrevista y la observación. La observación permitió conocer cómo se desarrollan los procesos de recepción y almacenamiento mientras que de la entrevista se obtuvieron datos sobre la problemática. Además, se realizó el análisis de documentos proporcionados por la empresa, que permitió recabar datos que no se habían identificado con anterioridad, aportando con información relevante para este proceso de investigación.

2.1.1. Levantamiento de información

2.1.1.1. Entrevista por videoconferencia

En primer lugar, se dio paso a una entrevista mediante la plataforma virtual Zoom. En la misma se realizaron preguntas abiertas de donde se recopiló la información relacionada con los procesos de recepción por parte de proveedores hasta su posterior almacenamiento. Dentro de la entrevista realizada el directivo del CEDI indicó que:

- El centro de distribución tiene proveedores de turno fijo que cuentan con un horario de atención previamente establecido y los demás tienen que agendar una cita en una plataforma en línea para entregar la orden siempre y cuando haya disponibilidad de espacio.
- El tiempo de atención por proveedor se genera en función del volumen a entregar, por ejemplo, si se entrega 10 m^3 se asignan 20 minutos, si son 60 m^3 (3 camiones) le corresponden 2 horas, etc.
- La franja horaria destinada para la atención de proveedores es de 8:00 a.m. a 5:00 p.m.
- El centro de distribución cuenta con 52 andenes de los cuales alrededor de 20 están destinados para la recepción de pedidos, el resto son para realizar el despacho.
- Solo cuando son temporadas altas se asigna andenes de despacho como andenes de recepción.
- Los proveedores deben llegar una o dos horas antes de la entrega y presentar en garita la orden de compra, la liquidación y el turno asignado para poder ingresar al CEDI.
- Usualmente los proveedores envían la mercadería paletizada o en bulto, lo que depende de las características del producto y el pedido.
- Los andenes pasan más tiempo ocupados cuando se reciben proveedores con carga no paletizada.

2.1.1.2. Visita técnica

El CEDI cuenta con dos espacios de almacenaje que son para productos secos y congelados. Se realizó la visita técnica al área de secos en donde se pudo observar lo siguiente:

- El centro de distribución actualmente realiza la asignación de andenes de forma empírica para el proceso de recepción de mercadería.
- El almacén ofrece el servicio de paletizado a los proveedores que envían el producto en bultos.
- Solo los productos paletizados son almacenados cuando finaliza la descarga. Existe un tiempo de espera a un costado de las estanterías antes de ser ubicados por los montacargas.
- La bodega está clasificada por secciones en función al flujo de los productos, y según su naturaleza (contaminantes o no contaminantes).
- La clasificación de los productos que se reciben es: comestibles, mascotas, menajes del hogar, perfumería, limpieza y textil.
- El almacén cuenta con protocolos para la recepción de productos para evitar la contaminación cruzada, por lo que no se puede recibir dos tipos de mercancía en andenes consecutivos que pueda ocasionar esta contaminación.
- Se proporciono una base de datos de los proveedores relacionada con los tiempos de llegadas y salidas del almacén, volúmenes de carga, tipo de producto entregado, horario de recepción y anden asignado.

2.1.2. Análisis de la información levantada

El CEDI cuenta con 52 puertas físicas de las cuales se utilizan 50. Las puertas asignadas para la descarga son desde la puerta 3 hasta la 20, y se despachan desde la puerta 21 hasta la 52. En otras palabras, las puertas destinadas para la recepción de

productos corresponden al 34%. Se ha destinado esta clasificación porque estas puertas están más próximas al almacenamiento.

En la actualidad la empresa atiende a 632 proveedores de los cuales 76 son los encargados de ingresar, en promedio, el 80% de mercancía. Esto significa que el 12% de proveedores abastece en un 80% al almacén, mientras que el 88% restante abastece al 20%. En promedio para recibir un pedido se toman entre 2.5 a 3 minutos por cada 1.3 metros cúbicos cuando el pedido está paletizado; cuando no llega paletizada se tarda entre 5 y 6 minutos. El tiempo de descarga de un producto paletizado o al granel no es el mismo, debido a este evento es importante conocer la cantidad de proveedores diarios atendidos para determinar la disponibilidad de los andenes.

Actualmente el almacén atiende a los proveedores en el horario de 8:00 a.m. hasta 5 p.m. Existen proveedores de turno fijo, esto quiere decir que son proveedores frecuentes; por otro lado, los que no son proveedores fijos deben de separar una cita previa mediante el uso de un portal web.

2.2. Recopilación de los datos

El proceso de recepción de pedidos comienza desde que se genera la orden de compra, en la misma se detallan las unidades, costos, SKU, fecha de emisión, fecha de recepción y otros. Cuando el proveedor recibe la orden de compra, se lo preliquida para posteriormente emitir la factura, esto con la finalidad de ajustar posibles errores. Una vez realizada la orden y la preliquidación se procede a agendar la cita para la recepción del producto, finalmente al momento de la cita se debe presentar en la garita la orden de compra, la liquidación y el turno registrado.

Después de ingresar al patio del almacén se asigna un andén para proceder con la descarga del pedido. Si los productos recibidos no están paletizados se asigna una cuadrilla para que lo paleticen,

luego de un periodo corto de tiempo de espera en la playa del CEDI se almacena. El proceso de recepción se explica en la figura 2.1.

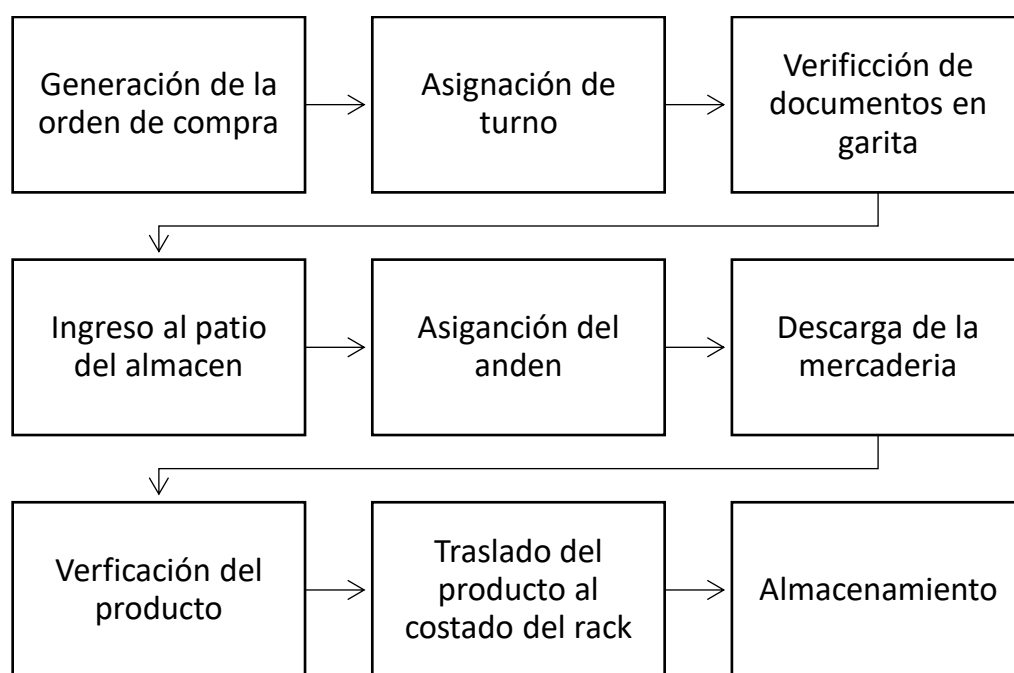


Figura 2.1 Proceso de Recepción a proveedores.

Fuente: Elaboración propia.

El horario para recibir los productos tiene intervalos de 20 minutos por cada proveedor. La cantidad de puertas dispuestas para la recepción son 17 según los datos recolectados. A continuación, se muestra un ejemplo del horario de recepción en donde presenta el intervalo de tiempo, el andén y el día en que fue atendido el proveedor.

Tabla 2.1 Cronograma ejemplo de recepción por andén.

Fuente: Elaboración propia.

Lunes		
Horario	P1	P2
8:01- 8:21	Proveedor 1	Proveedor 3
8:21-8:41	Proveedor 1	Proveedor 3
8:41-9:01	Proveedor 2	Proveedor 3
9:01-9:21	Proveedor 2	Proveedor 4

Es importante conocer el tiempo promedio de descarga de la mercadería que llega al granel o paletizada y así establecer las restricciones para la asignación de andenes. El tiempo promedio por 1.3 metros cúbicos descargados al granel es 5 a 6 minutos, mientras que de un producto paletizado es 2.5 a 3 minutos. La franja horaria destinada para la descarga es de 9 horas de lunes a sábado.

La empresa facilitó un archivo de Excel con información de proveedores atendidos de marzo a junio del 2021. Dentro de la base de datos podemos encontrar las siguientes variables:

- Número del pedido
- Fecha entrega, día, semana
- Proveedor
- zona
- Volumen de embalaje
- Volumen recibido
- Volumen en pallet
- Tipo de orden

En la Tabla 2.2 se presenta un ejemplo de la base de datos proporcionada por la empresa en estudio.

Tabla 2.2 Ejemplo de base de datos otorgada por la empresa.

Fuente: Base de datos de la empresa.

No. Pedido	Fecha entrega	Día	Proveedor	Zona	Vol. Embalaje	Vol. Recibido	Cantidad pedido	Vol. pallet
72515	13/5/2021	jueves	cp434	z7	0.94	3.77	4	2.00
67629	13/4/2021	martes	cp347	z6	0.69	51.25	74	10.57
67629	13/4/2021	martes	cp347	z6	0.69	51.25	74	10.57
64169	19/3/2021	viernes	cp434	z7	0.54	1.08	2	1.00

El almacén de la empresa en estudio tiene forma rectangular. Se realizó una clasificación de las zonas mediante el volumen de recepción usando el método ABC para jerarquizar por proveedores, el almacén se

distribuyó de la siguiente manera: el 15% corresponde a los proveedores tipo A, el 20% a los proveedores tipo B y finalmente el 65% a los proveedores de tipo C. Luego se procedió a clasificar el centro de distribución por zonas con la finalidad de encontrar la matriz de tiempos. Esta clasificación se basó en función de las posiciones pallets por proveedor. Las zonas con mayor cantidad de posiciones pallets son la zona 1, zona 2 y zona 3 y comprenden el 49.5% de los proveedores. Mientras que las zonas desde la 4 a la 8 le corresponden el 50.5% del total los proveedores.

Tabla 2.3 Pocisiones pallets por zona.

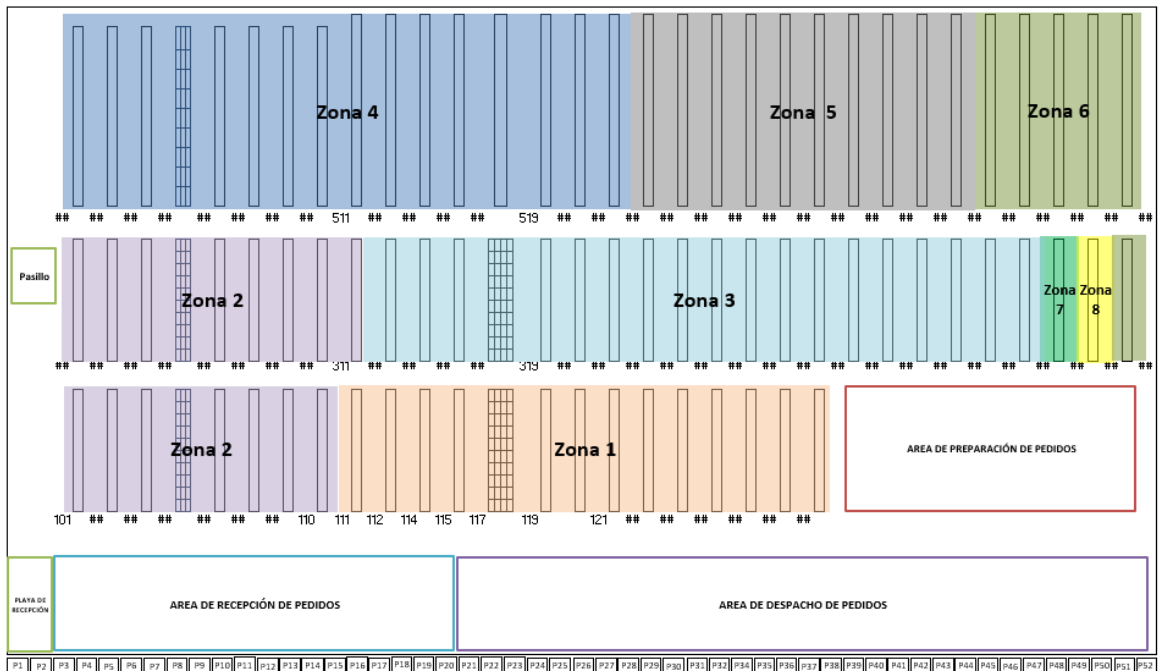
Fuente: Elaboración propia.

Zona	Proveedores	Posiciones pallets	Estanterías
1	6	7155	14
2	16	7483	17
3	234	7115	19
4	4	4618	16
5	81	3166	10
6	82	2060	6
7	80	352	1
8	14	134	1
Total	517	32082	84

Los pasillos tienen una distribución paralela, se organizan en tres grandes bloques. El bloque A comprenden los pasillos del 101 al 127, el bloque B son los pasillos 301 al 337 y finalmente el bloque C corresponde a los pasillos 501 al 537. A continuación, se muestra el diseño de la bodega en la figura 2.3.

Figura 2.2 Diseño del almacén de la empresa

Fuente: Elaboración propia.



Por otro lado, se calculó el tiempo de viaje desde los andenes hacia el punto medio de las estanterías usando la distancia de manhattan. Para encontrar dicha matriz se calculó la matriz de distancias basada en las medidas del diseño del almacén.

A continuación, se describen las medidas que se consideraron para dicho cálculo:

- Distancia de cada uno de los andenes a los racks.
- Ancho de los pasillos laterales y los pasillos entre los bloques A-B-C.
- Ancho de los pasillos
- Ancho del rack
- Ancho del anden

Se presenta de forma ilustrativa la figura 2.3. que describe las medidas internas del almacén.

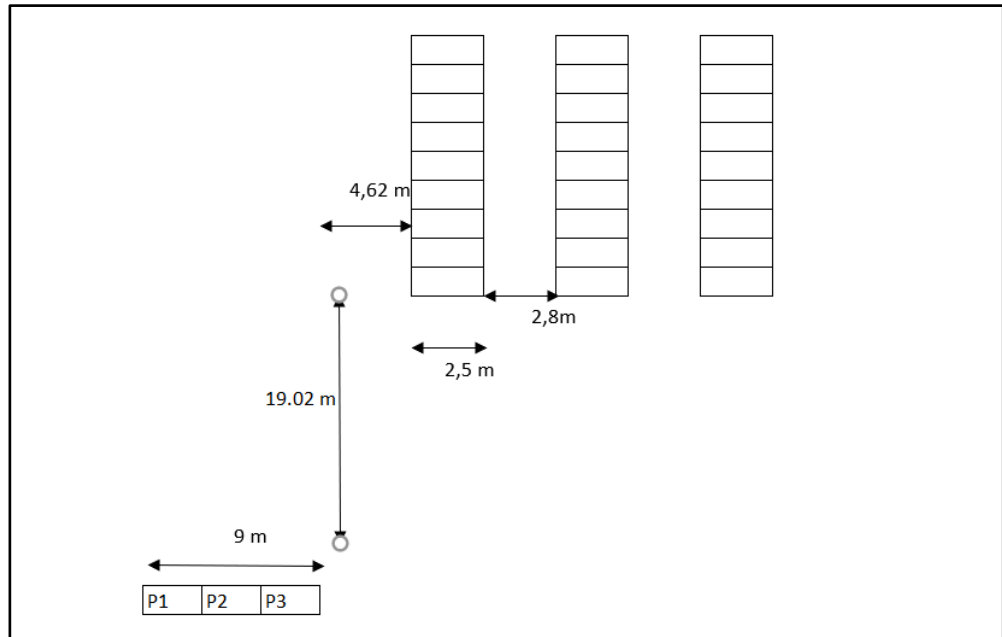


Figura 2.3 Representación de las medidas.

Fuente: Elaboración propia.

Las medidas mencionadas sirven como punto de partida para encontrar la matriz de distancias necesarias para calcular los tiempos de desplazamiento. Cabe indicar que los cálculos se realizaron bajo el supuesto de que las mercancías son almacenadas inmediatamente luego de ser que descargadas en la playa de recepción. En la tabla 2.4 se muestra un ejemplo de la matriz de distancia para un ejemplo particular entre 3 puertas y 3 zonas.

Tabla 2.4 Matriz de distancias (m).

Fuente: Elaboración propia.

Puertas	Z1	Z2	Z3
P3	97.1	101.97	176.2
P4	90.55	96.67	170.9
P5	89.15	92.62	166.8

Después se procedió a calcular la matriz de tiempo mediante una analogía entre velocidad recorrida por un montacarga y su desplazamiento. En otras palabras, si el montacarga recorre 12 km/h y se tiene una distancia recorrida de 33 metros se tiene un tiempo recorrido de 0.17 minutos. En la tabla 2.5 se muestra la matriz de tiempos.

Tabla 2.5 Matriz de tiempo (min).

Fuente: Elaboración propia.

Puertas	z1	z2	z3
p3	0.49	0.51	0.88
p4	0.45	0.48	0.85
p5	0.45	0.46	0.83

2.3. Descripción del modelo

En este punto se explica el modelo matemático de las variables y parámetros basados en el análisis previo de la información a fin de modelar el problema según la realidad de la empresa en estudio.

2.3.1. Modelo de asignación

El modelo seleccionado es el modelo de asignación ya que busca determinar la cantidad de andenes necesarios para la recepción de vehículos proveedores. Este problema surge por la necesidad de optimizar los recursos, cuando se tienen tareas para ser realizadas por determinados empleados. Basado en esta premisa las tareas serían los andenes y los trabajadores corresponderían a los vehículos proveedores. A continuación, se presentan los elementos involucrados en el modelo matemático.

Conjuntos

I: Conjunto de camiones del proveedor

J: Conjunto de puertas de desembarque (andenes)

L: Zonas de almacenamiento

Parámetros

$t_{viaje_{j,l}}$: Tiempo de viaje de la puerta j a la zona de almacenamiento l

v_i : Viajes que se realizan por tipo de proveedor i según los metros cúbicos

$$p_{i,l} = \begin{cases} 1, & \text{si los productos del camión } i \text{ es asignado a la zona } l \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

vol_i : Volumen en metros cúbicos recibido por proveedor i

Escalares

C : Capacidad de atención por andén en metros cúbicos por semana, 8 horas y 6 días.

CP : Cantidad de citas disponibles por andén por semana

VARIABLES DE DECISIÓN:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si el camión } i \text{ es descargado en la puerta } j \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

Función objetivo:

$$\min T: \sum_i^I \sum_j^J \sum_l^L x_{ij} * p_{il} * t_{viaje_{jl}} * v_i$$

(Ecuación 2.1)

Restricciones:

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = 1, \quad \forall i \in I, vol_i \neq 0$$

(Ecuación 2.2)

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} * vol_i \leq C, \quad \forall j \in J$$

(Ecuación 2.3)

$$x_{(i,j)} \in \{0,1\}$$

(Ecuación 2.4)

La función objetivo (ecuación 2.1) busca minimizar tiempos de atención de los camiones proveedores. En cuanto a las restricciones de la (ecuación 2.2) aseguran que a cada camión se le asigne una puerta y a que a cada puerta se le asigne un camión respectivamente, mientras que las restricciones de la (ecuación 2.3) establece la máxima cantidad de camiones que pueden ser recibidos por andén. La (ecuación 2.5) establece que la variable de decisión debe tomar el valor de 0 o 1.

2.4. Uso de software

Los programas informáticos son esenciales para poder comparar los modelos matemáticos propuestos en el proyecto. El software seleccionado es General Algebraic Modeling System (GAMS), ya que en él se puede solucionar problemas de tipo lineal, no lineal, entera y mixta. En el mismo se modela el problema de asignación del cual se esperan resultados favorables con brechas no superiores al 7%. GAMS es una herramienta usada en muchos ámbitos empresariales y permite la manipulación, importación y exportación de los datos desde y hacia hojas de cálculo de Excel, lo que es de mucha importancia ya que la mayoría de las industrias usan esta herramienta para la recopilación de los datos.

Por otra parte, para poder cargar la información se hace uso de la herramienta Python, la cual permite una integración con las herramientas previamente mencionadas (GAMS y Excel) y también tiene una interfaz con visualización sencilla mediante el amplio catálogo de librerías que cuenta.

2.5. Consideraciones medioambientales

En la actualidad las innovaciones y tendencias por reducir el impacto ambiental están latentes en las grandes industrias, esto se consigue con el desarrollo constante de la tecnología, que logra

trascender y cambiar los paradigmas ya establecidos. El proyecto busca reducir en lo posible las trayectorias que se tiene que recorrer dentro del almacén, reduciendo de esta manera el impacto ambiental que pueda causar el uso de equipos para manipular mercancías.

Por otra parte, la reducción de uso de los equipos implica una disminución en los mantenimientos y recursos empleados para esta actividad, lo que representa utilidad para la empresa haciendo el uso óptimo de los recursos. Lo dicho hasta el momento se traduce en la búsqueda de prolongar la vida útil de los equipos y de esta manera disminuir el impacto producido por los materiales que deben ser desechados.

2.6. Fases del proyecto

En el presente trabajo se realizaron varias actividades con la finalidad de cumplir con los objetivos de la investigación. En primer lugar, se realizó una entrevista al representante de operaciones del centro de distribución, esto permitió levantar información sobre el proceso de recepción de mercadería, la distribución física de los productos y las medidas del almacén.

Luego se efectuó el análisis de los datos usando la distancia de Manhattan para determinar la Base de Datos de los tiempos de atención por proveedor. Al mismo tiempo se precisaron los conjuntos, los parámetros y las variables que permitieron diseñar el modelo matemático para su posterior implementación en GAMS y Python. La aplicación del modelo en el software mencionado dio como resultado un gap menor al 5%. Dicho de otra manera, se obtuvieron resultados aceptables para el modelo de asignación de andenes.

Finalmente se realizó un análisis comparativo entre los resultados obtenidos entre la implementación del modelo y la situación actual de la empresa con la finalidad de obtener un informe detallado de los resultados. Por tanto, el informe recopilado brinda soporte para la toma de decisiones de la empresa.

A continuación, se presenta las fases del proyecto en estudio:

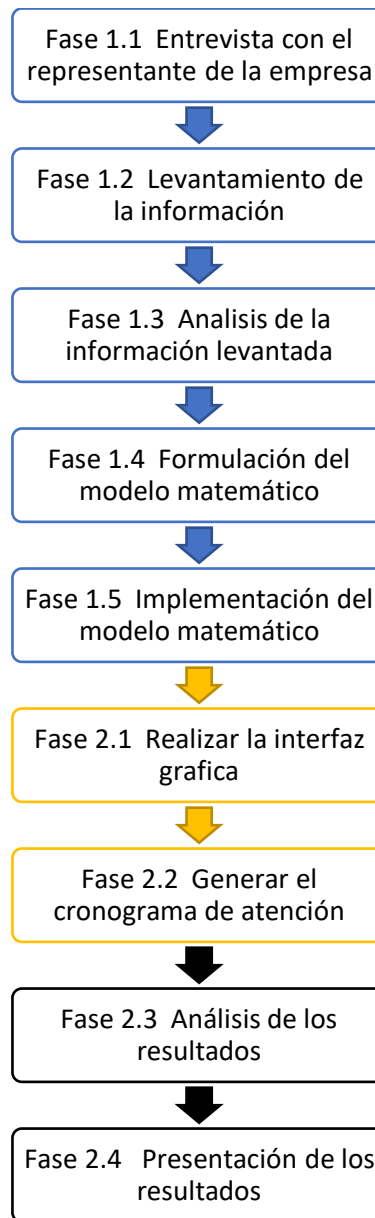


Figura 2.4 Fases del proyecto

Fuente: Elaboración propia.

2.7. Cronograma de actividades

A continuación, se visualiza el cronograma cada una de las actividades desarrolladas para la realización del presente proyecto, teniendo una duración de 15 semanas.

Actividad	Semanas														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	11 -15 mayo	17-22 mayo	24-29 mayo	1- 5 junio	7-11 junio	14-18 junio	21-25 junio	27-30 junio	1-8 julio	9-14 julio	15-22 julio	23-27 julio	30 julio-3 Agosto	4-7 agosto	6-11 Agosto
Entrevista con la empresa	■														
Levantamiento de información		■													
Análisis de la información levantada			■	■											
Descripción del problema y objetivos					■										
Selección del modelo matemático						■									
Análisis de la base de datos de la empresa							■								
Definición de variables, restricciones y parámetros del modelo								■							
Planteamiento del modelo matemático de acuerdo al problema									■	■					
Aplicación del modelo mediante el uso de un software											■	■			
Análisis de resultados													■		
Comparación de resultados														■	
Conclusiones y recomendaciones del proyecto															■

Figura 2.5 Cronograma del proyecto

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

Para el desarrollo del presente capítulo se consideró el análisis exhaustivo de la problemática, la identificación adecuada de cada variable, los parámetros, la función objetivo y las restricciones, así como los resultados de la variable de decisión. Al mismo tiempo se abordó la implementación del modelo matemático con la programación de GAMS y Python. Los datos utilizados en el modelo pertenecen a la semana con mayor atención a proveedores del mes de junio, esto es del 14 al 19 de junio del 2021.

Por otro lado, se interpretaron los resultados obtenidos en la implementación del modelo. Así mismo se presenta un análisis de los costos en dicha semana asociados al área de recepción con la finalidad de contrastar la situación actual y la solución planteada.

3.1. Gestión de la base de datos

Para poder obtener los parámetros se optó por hacer uso de las herramientas que contiene Excel. El uso de tablas dinámicas permitió analizar y extraer parámetros como: volúmenes, viajes, matriz de tiempos y matriz binaria de asignación de proveedores a zonas.

3.1.1. Procedimiento para cumplir con los objetivos del proyecto

Se presenta en esta sección las acciones que fueron necesarias realizarse para cumplir con los objetivos del problema:

Paso 1. Construir matriz de distancias aplicando la métrica de Manhattan y obtener la matriz de tiempos.

Paso 2. Obtener los parámetros necesarios de la base de datos

Paso 3. Modelar en el problema de asignación a fin de encontrar la solución óptima al problema.

Paso 4. Resolver el problema lineal en los softwares GAMS y Python e interpretar los resultados.

Paso 5. Realizar una interfaz amigable con el usuario que permita ingresar los datos, ejecutar el programa y mostrar los resultados.

Paso 6. Armar el cronograma de atención a proveedores por día y por puerta y por turno basado en los resultados obtenidos

Paso 7. Realizar un análisis comparativo de la situación actual con la solución propuesta.

3.2. Matrices obtenidas

A continuación, se detalla de manera intuitiva la representación de todas las matrices que utiliza el modelo.

3.2.1. Matriz de tiempos de cada zona a cada puerta

A partir de la matriz de distancias hallada con la métrica de Manhattan se obtuvo la matriz de tiempos como se mencionó previamente en la sección 2.2. A continuación se muestra una ilustración de dicha matriz.

Tabla 3.1 Ejemplo de matriz de tiempos.
(Elaboración propia)

	z1	z2	...	z7	z8
p3	0.49	0.51	...	1.15	1.18
p4	0.45	0.48	...	1.12	1.15
⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮
p19	0.20	0.55	...	0.72	0.75
p20	0.18	0.56	...	0.70	0.73

3.2.2. Matriz de volúmenes semanal

La matriz de volúmenes es el parámetro que el usuario deberá ingresar como un input semana a semana, para así poder ejecutar el modelo y obtener la asignación, en la tabla 3.2 se ilustra la mencionada matriz:

Tabla 3.2 Ejemplo de matriz de volúmenes.
(Elaboración propia)

Proveedor	Volumen
cp3	609.33
cp4	243.5
⋮	⋮
Cp510	0.10
Cp514	0.80

3.2.3. Matriz de viajes semanal

Para la matriz de viajes se aplicó el redondeo hacia arriba de la matriz de volúmenes mencionada en la sección anterior. Es decir que si el volumen es de 100.5 m³ los viajes equivalentes con el montacargas para almacenar dicho volumen es de 101, debido a que se consideró que cada montacargas tiene la capacidad de llevar un pallet de aproximadamente un metro cubico.

Tabla 3.3 Ejemplo de matriz de viajes.

(Elaboración propia)

Proveedor	viajes
cp3	610
cp4	244
⋮	⋮
cp510	1
cp514	1

3.2.4. Matriz binaria

Otro parámetro que contempló el modelo es la matriz que relaciona a los Camiones Proveedores (CP) con las diferentes zonas. Este parámetro al igual que los demás se los obtuvo usando la función de tablas dinámicas de Excel. A continuación, se presenta una ilustración de la tabla mencionada:

Tabla 3.4 Ejemplo de matriz binaria que relaciona a los camiones proveedores con las diferentes zonas.

(Elaboración propia)

	z1	z2	...	z7	z8
cp1	1	0	...	0	0
cp2	0	1	...	0	0
⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮
cp516	0	0	...	0	0
cp517	0	0	...	1	1

3.3. Resultado del modelamiento matemático

Luego de organizar los datos y depurar la información necesaria del problema en estudio se procedió a ejecutar el modelo matemático en GAMS con la finalidad de alcanzar los resultados requeridos por la empresa.

3.3.1. GAMS

En primera instancia se usó este programa para resolver el problema de asignación, pero debido a que la licencia utilizada no permitió la instalación de la API de Python se procedió a programar el modelo matemático en Python. Sin embargo, su utilidad dentro del proyecto es que la empresa podrá usarla como una herramienta adicional para encontrar la solución al problema de asignación.

Al ser una herramienta estudiada a lo largo de la carrera se optó en primera instancia por hacer uso de ella.

En primer lugar, se importaron los datos obtenidos del análisis realizado en Excel. Los datos son cargados desde una ubicación en específico dentro de las hojas de Excel. Siguiendo esta secuencia se agregaron cada uno de los parámetros e índices utilizado en el modelo.

Luego se procedió a declarar las variables del problema sujetas a ciertas restricciones. Al mismo tiempo se añade la variable binaria que controla la asignación de las puertas del almacén a cada uno de los proveedores.

En cuanto a las restricciones se encuentran la función objetivo, la restricción que asigna una sola puerta por proveedor, y la restricción del volumen máximo que se recibe por puerta.

Como último paso se procedió a ejecutar el modelo de asignación. La solución de programa muestra que el tiempo total de la operación de una semana de atención a proveedores es de 3728.41 minutos con un GAP es de 0.080% como se muestra a continuación:

MIP Solution:	3728.415100	(11 iterations, 0 nodes)
Final Solve:	3728.415100	(0 iterations)
Best possible:	3728.335539	
Absolute gap:	0.079561	

Figura 3.1 Valor de la Función Objetivo en minutos.

Fuente: (GAMS, 2021)

Por otra parte, el programa muestra la asignación de andenes por proveedor. Las columnas de la matriz representan las puertas del almacén, mientras que la filas contienen valores unitarios. Esto indica que, si tiene el valor de 1, el proveedor se atiende en la puerta. Así como se muestra en la figura 3.2

	p9	p10	p15	p18	p19	p20
cp1				1.000		
cp2						1.000
cp3						1.000
cp4				1.000		
cp5						1.000
cp6						1.000
cp7	1.000					
cp8	1.000					
cp9	1.000					
cp10		1.000				
cp11	1.000					
cp12		1.000				
cp13	1.000					
cp14	1.000					
cp15	1.000					
cp16		1.000				
cp17	1.000					
cp18	1.000					
cp19	1.000					
cp20	1.000					
cp21	1.000					
cp22	1.000					

Figura 3.2 Asignación de andenes por proveedor

Fuente: (GAMS, 2021).

3.3.2. Python

Se confirmó con los directivos de la empresa que los resultados del modelo están bien y arrojando una asignación correcta y coherente en función a los volúmenes ingresados, se procedió a llevar el modelo matemático a la programación de Python.

En primer lugar, se importó la Base de datos de la empresa a Python para depurar la data y extraer los parámetros requeridos por el modelo. Luego, se transformaron los parámetros a archivo CSV para facilitar su ingreso en Python. Una vez ingresados los datos se declararon las variables, y con la ayuda de la librería Pulp se logró plantear el modelo matemático: restricciones y la función objetivo.

Una vez comprobado que el modelo arroja los mismos resultados que GAMS, se continuó trabajando en la interfaz gráfica para presentar los resultados de manera clara y sencilla.

Para poder agregar un entorno amigable se utilizó la herramienta Qt Designer, que es una herramienta que permitió realizar el diseño de la interfaz gráfica, posteriormente se concateno con la codificación de Python por medio de las funciones de la librería PyQt5.

3.3.2.1. Diseño de la interfaz gráfica

Para el diseño de la interfaz gráfica se consideró un modelo de fácil entendimiento donde el usuario podrá familiarizarse rápidamente con las funcionalidades del programa. Para almacenar la ruta de los archivos se utilizó la clase Path y para establecer las funciones de la aplicativo se usó la clase AppGUI. Dentro de esta clase se definieron varias funciones que permiten cargar archivos, actualizar, ejecutar el modelo matemático y exportar los resultados a una hoja de Excel.

Para ingresar el modelo matemático en Python se empleó la librería Pulp debido a que esta librería contiene funciones que resuelven problemas de optimización.

Además, también se incluyó la programación del horario a partir del resultado del modelo matemático y un nuevo parámetro que

consiste en un arreglo de 1 y 0 donde indica los días que visita cada proveedor el CEDI.

En la figura 3.3 se muestra la pantalla principal de la interfaz en donde se visualiza las opciones para seleccionar los archivos de los diferentes parámetros o cargar los archivos por defecto, la opción de actualizar que nos sirve para ejecutar y mostrar los resultados, y la funcionalidad de forzar el modelo en caso de ser necesario.

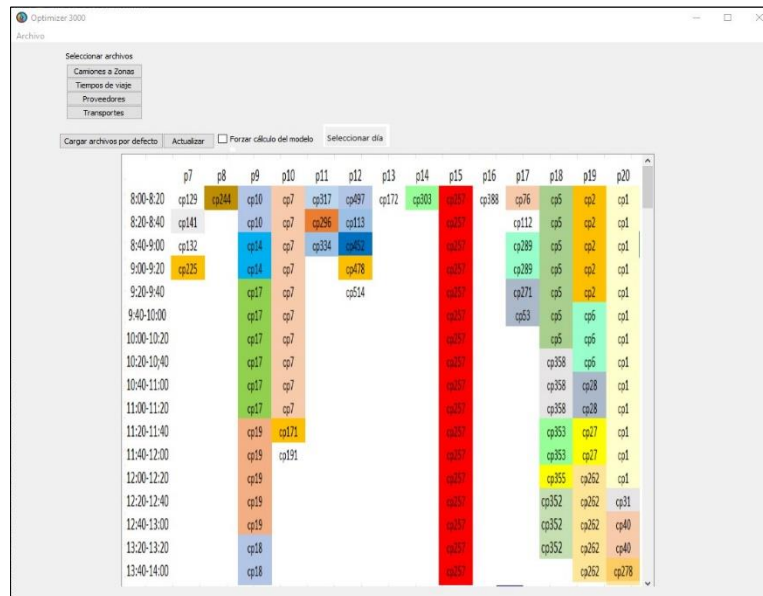


Figura 3.3 interfaz gráfica del programa de asignación.

Fuente: (QtDesigner, 2021).

La interfaz es muy sencilla de entender y muy intuitiva al momento de utilizar, además de que es de suma importancia poder ofrecer esta facilidad de visualización al personal de la empresa. Como podemos observar, el programa permite ingresar los datos y da como resultado la programación de los horarios de recepción por proveedor de la semana para las puertas asignadas.

3.4. Análisis de los resultados

Es importante para la toma de decisiones de la empresa analizar la utilización de las puertas asignadas al área de recepción. Para efectuar el cálculo se utilizó la herramienta de Excel.

En la tabla 3.6 se evidencia la utilización de las puertas durante la semana establecida en el proyecto. La información contenida en la tabla se refiere a las puertas asignadas, la cantidad de proveedores atendidos y el volumen semanal descargado por puerta. Para calcular la utilización se dividió el volumen semanal para la capacidad de atención por andén en la semana el cual es de $1440 m^3$.

Tabla 3.5 Productividad por puerta de la solución propuesta.
(Elaboración propia)

Puerta	Cantidad de proveedores	Volumen semanal	Porcentaje de utilización
p20	20	1439.9	100.0%
p19	20	1437.6	99.8%
p9	20	1301.7	90.4%
p15	20	1151.0	79.9%
p18	20	771.7	53.6%
p10	20	309.3	21.5%
p17	20	180.6	12.5%
p16	20	123.6	8.6%
p14	20	55.8	3.9%
p13	20	39.9	2.8%
p12	20	22.6	1.6%
p11	20	15.1	1.1%
p8	20	10.1	0.7%
p7	11	6.8	0.5%

Según los resultados obtenidos se evidencia que el porcentaje de mayor utilización les corresponden a las puertas p9, p19 y p20 con un valor de 90.4%, 99.8% y 100% respectivamente. Este evento sucede debido a que el tiempo de desplazamiento entre las zonas y las puertas son menores con respecto a las demás configuraciones, ocasionando que el modelo asigne puertas a los proveedores hasta que alcancen su capacidad máxima de atención.

3.4.1. Programación del horario

El horario se estableció a partir de la solución dada por la variable de decisión x_{ij} . En primer lugar, se transformó la matriz binaria en un vector donde se refleja la asignación de camiones proveedores a puertas. Posteriormente se consideraron dos nuevos parámetros que se enlazaron al vector anterior; la frecuencia semanal de atención por proveedor, y una matriz binaria que indica los días a la semana que visita el proveedor al centro de distribución.

Luego se concatenaron los volúmenes de cada proveedor, y finalmente se ordenó el resultado de asignación de dos maneras, primero por volumen y luego por frecuencia de manera descendente.

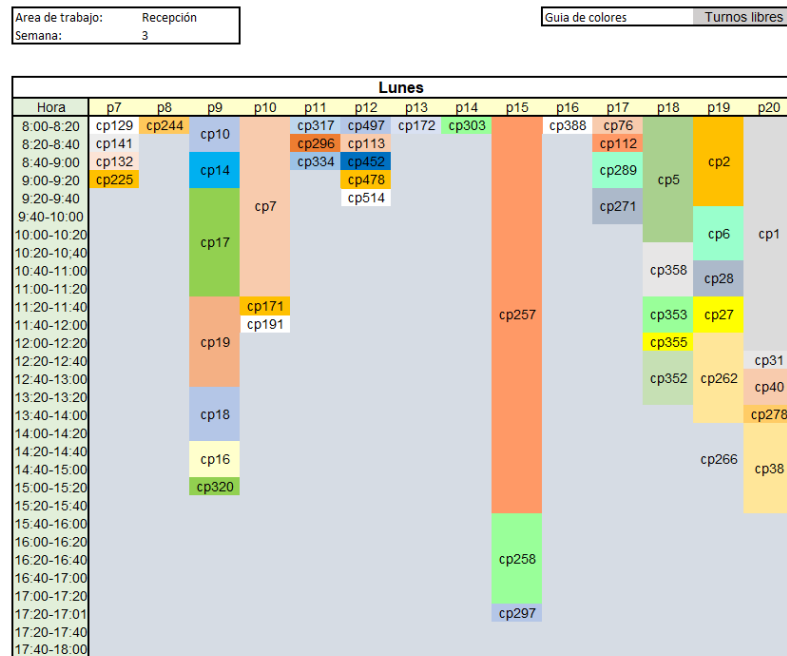
Después se calculó el volumen promedio diario por proveedor dividiéndolo para la frecuencia semanal para posteriormente convertir este volumen en turnos diarios. Es necesario recalcar que el almacén recibe $10 m^3$ por cada turno de 20 minutos. Es decir que si se recibe $140 m^3$ le corresponden 14 turnos. En la figura 3.3 se muestra un ejemplo de los datos necesarios para la elaboración del cronograma de atención.

Proveedor	Puerta	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Frecuencia	Volumen semanal	Volumen diario	Horas diarias	Turnos diarios
cp2	p19	1	1	1	1	1	1	6	243.58	40.60	1.4	5.0
cp10	p9	1	1	1	1	1	1	6	106.17	17.70	0.6	2.0
cp14	p9	1	1	1	1	1	1	6	85.85	14.31	0.5	2.0
cp1	p20	1	0	1	1	1	1	5	609.33	121.87	4.1	13.0
cp6	p19	1	1	1	0	1	1	5	116.28	23.26	0.8	3.0
cp31	p20	1	1	1	1	1	0	5	28.35	5.67	0.2	1.0
cp5	p18	1	0	0	1	1	1	4	252.17	63.04	2.1	7.0
cp257	p15	1	0	1	0	1	0	3	630.95	210.32	7.0	22.0
cp4	p20	0	1	0	1	0	1	3	445.79	148.60	5.0	15.0

Figura 3.4 Ordenamiento del resultado.

Fuente: (Elaboración propia).

Finalmente se realizó el horario en ese orden, tomando todas las consideraciones mencionadas anteriormente. Cabe destacar que la empresa considera que los volúmenes más grandes deben ser atendidos con prioridad, por esta razón se ordenaron los volúmenes y la frecuencia en forma descendente. A continuación, en la figura



3.4 podemos apreciar de manera ilustrativa el cronograma de atención obtenido:

Figura 3.5 Ejemplo del horario obtenido a partir de la ejecución del programa.

Fuente: (Elaboración propia).

Como se puede apreciar en la figura 3.4, cuenta intervalos de 20 minutos para cada cita de camiones proveedores, el horario de atención comprende desde las 8 a.m. hasta las 6 p.m. de lunes a sábado, con un total de 30 turnos por día. Existe la posibilidad de que un camión proveedor se tarde más de un turno para terminar de descargar el volumen que se recibe, por lo que puede extenderse los turnos y el horario de atención.

3.5. Análisis de costos

Para realizar el análisis de costos se consideró a la semana del 14 al 19 de junio del 2021 como se mencionó al inicio del capítulo 3. Para este análisis se estableció que los costos asociados con la actividad recepción y almacenamiento los cuales son: separar cita, descargar pallet, etiquetar y registrar pallet, control de calidad, transportar pallet al costado del rack y almacenar pallet.

3.5.1. Situación actual

Para calcular los costos relacionados a la situación actual se tomaron en consideración los costos mencionados. En la figura 3.4 se detallan los valores referenciales de las actividades que se realizan en la recepción y almacenamiento. La empresa en estudio maneja diferentes unidades de medida tales como: el costo por hora de trabajo de los estibadores, trabajadores operativos y elevadoristas.

Datos			Costos unitarios					
Día	Turnos	Pallets	Actividad	Unidad de Medida	Tiempo promedio	Estibador (\$/h)	Trabajador operativo (\$/h)	Elevadorista (\$/h)
Lunes	3282	3282	Programar cita	min/cita	0.55	-	3.6	-
Martes	3003	3003	Descargar pallet	min/pallet	0.1	3.5	-	-
Miércoles	2923	2923	Etiquetar y registrar pallet	min/pallet	1.29	3.5	-	-
Jueves	3924	3924	Control de calidad en la recepción	min/unidad	0.15	3.5	-	-
Viernes	2972	2972	Transportar pallet	min/pallet	1.31	3.5	3.6	-
Sábado	3438	3438	Almacenar pallet	min/pallet	1.38	-	-	5,1

Figura 3.6 Datos y costos unitarios de recepción y almacenamiento.

Fuente: Datos proporcionados por la empresa.

Según la base de datos de la empresa, para la situación actual del almacén se utilizó 7 puertas en la recepción de productos, es decir el 40% del total de puertas destinadas para recibir mercadería. Se calcularon los costos considerando los turnos asignados y los pallets recibidos, luego se multiplicaron por cada uno de los costos unitarios dependiendo de la actividad. En la tabla 3.7 se evidencia un costo total a la semana de \$6,485.65.

Tabla 3.6 Costos relacionados con el área de recepción y almacenamiento de la situación actual.

Fuente: (Elaboración propia).

Días	Programar cita	Descargar pallet	Registrar pallet	Transportar pallet al	Almacenar pallet	Total
Lunes	\$ 14.58	\$ 173.09	\$ 254.03	\$ 257.97	\$ 384.98	\$ 1,084.64
Martes	\$ 20.84	\$ 158.38	\$ 232.43	\$ 236.04	\$ 352.25	\$ 999.94
Miércoles	\$ 17.38	\$ 154.16	\$ 226.24	\$ 229.75	\$ 342.87	\$ 970.40
Jueves	\$ 24.64	\$ 206.95	\$ 303.72	\$ 308.43	\$ 460.29	\$ 1,304.02
Viernes	\$ 19.39	\$ 156.74	\$ 230.03	\$ 233.60	\$ 348.62	\$ 988.38
Sábado	\$ 17.35	\$ 181.32	\$ 266.10	\$ 270.23	\$ 403.28	\$ 1,138.27
Costo Semanal						\$ 6,485.65

3.5.2. Situación propuesta

Por otro lado, para obtener los costos relacionados con la propuesta se consideró la asignación de puertas dada por la variable de decisión que fue resultante del modelo matemático. También se consideró a la matriz de tiempos y al vector de viajes para el almacenamiento con el fin de calcular de esta manera al rubro “transportar pallet”. En la tabla 3.8 se muestra los cálculos que se efectuaron para obtener el costo de transportar pallet dentro del almacén.

Tabla 3.7 Costos de transportar pallet por día.

Fuente: (Proporcionado por la empresa).

Día	pallets recibidos	Tiempo desplazamiento (min)	horas	\$/h	Total
Lunes	3282	1387.8	23.1	3.6	\$ 83.27
Martes	3003	1374.1	22.9	3.6	\$ 82.45
Miércoles	2923	1378.7	23.0	3.6	\$ 82.72
Jueves	3924	1635.0	27.3	3.6	\$ 98.10
Viernes	2972	1371.6	22.9	3.6	\$ 82.30
Sábado	3438	1338.0	22.3	3.6	\$ 80.28
Costo total					\$ 509.12

Al igual que en la sección anterior se calcularon los demás costos de manera análoga, basado en la cantidad de pallets y turnos asignados a la semana. En la tabla 3.10 se muestra a detalle los costos relacionados a la recepción y almacenamiento de la situación propuesta, podemos apreciar que de igual manera está detallado por día.

Tabla 3.8 Costos relacionados con el área de recepción y almacenamiento de la propuesta.

Fuente: (Elaboración propia).

Días	Programar cita	Descargar pallet	Registrar pallet	Transportar pallet	Almacenar pallet	Total
Lunes	\$ 12.90	\$ 173.09	\$ 254.03	\$ 83.27	\$ 384.98	\$ 908.26
Martes	\$ 12.14	\$ 158.38	\$ 232.43	\$ 82.45	\$ 352.25	\$ 837.65
Miércoles	\$ 11.94	\$ 154.16	\$ 226.24	\$ 82.72	\$ 342.87	\$ 817.93
Jueves	\$ 15.53	\$ 206.95	\$ 303.72	\$ 98.10	\$ 460.29	\$ 1,084.59
Viernes	\$ 12.50	\$ 156.74	\$ 230.03	\$ 82.30	\$ 348.62	\$ 830.19
Sábado	\$ 13.26	\$ 181.32	\$ 266.10	\$ 80.28	\$ 403.28	\$ 944.24
					Costo semanal	\$ 5,422.86

Como se observa, se muestra el día de la semana, luego el costo de asignar una cita a un proveedor y los costos de descargar, registrar, transportar y almacenar pallet. Finalmente se tiene el costo semanal de \$5,422.86 como resultado de utilizar 14 puertas diarias. Por último, los costos de la situación propuesta generan un ahorro semanal aproximado de un 16.4% frente a la situación actual.

CAPÍTULO 4

1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.1. Conclusiones

- Debido a la comunicación oportuna con los directivos de la empresa, se logró capturar la esencia del problema, permitiendo alinearse con las necesidades que se presentaron, y de acuerdo con la base de datos y las limitaciones del centro de distribución.
- El modelo matemático tiende a seleccionar las puertas 20,19,18,15 y 9 debido a que están más próximas a las zonas de almacenamiento.
- Analizando la solución que nos brinda el programa con los directivos de la empresa, pudimos corroborar que la asignación otorgada en la semana es correcta, y que el modelo matemático brinda soluciones que están acorde con la situación actual de la empresa.
- La solución al problema tiene un gap menor al 8%, debido a que se abordó como un problema de programación lineal entera mixta, por lo que se espera que al aplicar los resultados obtenidos se podrá mejorar en un 16.4 % la situación actual de la empresa.
- Debemos destacar que los tiempos de ejecución para el modelo matemático se encuentran dentro de los rangos aceptables para poderlos implementar en el momento que la empresa lo requiera, gracias a la ayuda de los programas utilizados se obtuvieron los tiempos de ejecución los cuales fueron: para GAMS 4 minutos 17 segundos y para Python el tiempo de ejecución fue de 24 segundos.
- El modelo de asignación entrega como resultado un cronograma de atención a proveedores por puerta en donde cada cliente está identificado por su denominación con la finalidad de facilitar la visualización.
- El análisis realizado a los costos asociados a la recepción y almacenamiento de productos se disminuyó a pesar de que se aumentó la cantidad de puertas planificadas de 7 a 14 para recibir la mercadería. Se obtuvo una mejora en la utilización de las puertas debido que se incrementó la cantidad de puertas de un 40% a un 80% con respecto a la

situación actual. Además, el costo que mayor impacto tuvo es el costo de traslado de productos dentro del almacén.

1.2. Recomendaciones

- Al encontrar una solución para el modelo matemático se pudo constatar que la utilización de las puertas de recepción solo llegó al 82%, es decir 14 de las 17 puertas por lo que se recomienda disminuir el número de puertas de recepción y destinarlas para el despacho.
- Se sugiere seguir mejorando el modelo para que contemple los tiempos que permanecen los pedidos en las playas de recepción y los tiempos de paletizado de las unidades que se reciben por proveedor, con el propósito de encontrar soluciones que mejoren la asignación de las puertas propuesta en el proyecto.
- Se recomienda abordar el problema en una sola fase, incluyendo el cronograma de atención a proveedores dentro del modelo matemático.
- Además, se sugiere la complementación con un programa que calcule la matriz de distancias de manera automática, teniendo como entrada las coordenadas de cada zona y puerta, y estableciendo la matriz como salida, de manera que se obtengan medidas más exactas sobre las zonas de la bodega que garanticen aproximaciones más precisas que la obtenida mediante la métrica de manhattan.

REFERENCIAS

- Berghman, L., Leus, R., & Spieksma, F. C. R. (2014). Optimal solutions for a dock assignment problem with trailer transportation. *Annals of Operations Research*, 213(1), 3–25. <https://doi.org/10.1007/s10479-011-0971-7>
- Bozer, Y. A., & Carlo, H. J. (2008). Optimizing inbound and outbound door assignments in less-than-truckload crossdocks. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 40(11), 1007–1018. <https://doi.org/10.1080/07408170802167688>
- Enderer, F., Contardo, C., & Contreras, I. (2017). Integrating dock-door assignment and vehicle routing with cross-docking. *Computers and Operations Research*, 88, 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.06.018>
- Frederick S. Hiller, L. J. G. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones* (Novena edi).
- Mora García, L. A. (2011). *Gestión Logística en Centros de Distribución, Bodegas y Almacenes*. 244.
- Peng, B., Wu, L., Yi, Y., & Chen, X. (2020). Solving the multi-depot green vehicle routing problem by a hybrid evolutionary algorithm. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/su12052127>
- Taha, H. A., & Pozo, V. G. (2004). *Investigación de operaciones*. Pearson Educación.
- Zouhaier, H., & Said, L. B. (2017). Robust scheduling of truck arrivals at a cross-docking platform. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3014812.3014840>

ANEXOS

Anexo I: Base de datos otorgada por la empresa.



ordenes.xlsx

Anexo II: Espacios pallets por proveedor



Espacios pallets.xlsx

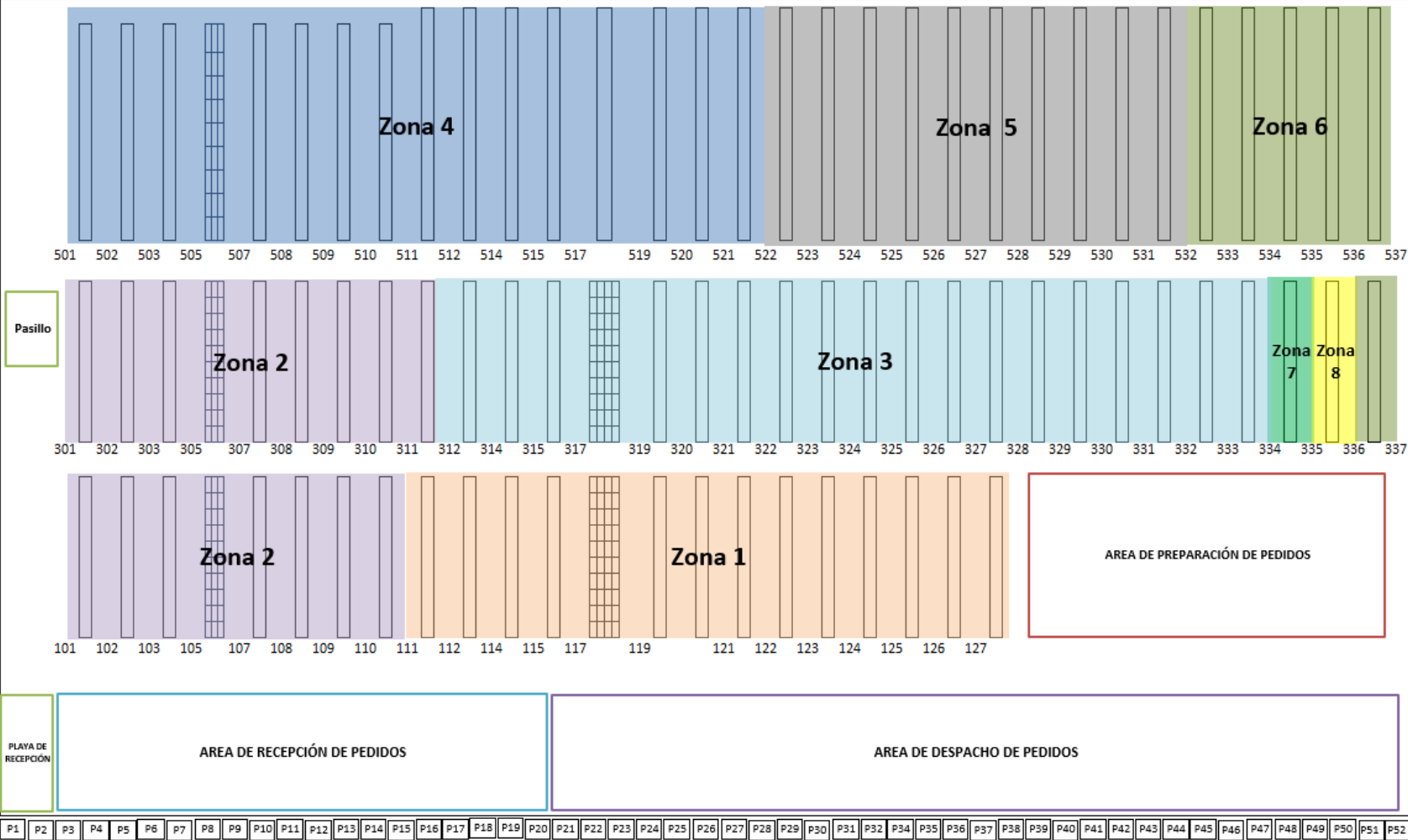
Anexo III: Matriz de distancias.

Puertas	Zonas							
	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8
P3	97.1	101.97	176.2	165.8	235.9	271.8	229.17	235.72
P4	90.55	96.67	170.9	160.5	230.6	267.9	223.87	230.42
P5	89.15	92.62	166.8	157.8	230.5	265.2	218.57	225.12
P6	86.5	89.97	164.2	156.4	227.8	261.2	213.27	219.82
P7	81.2	86.07	161.5	149.9	222.8	251.8	207.97	214.52
P8	78.55	83.42	157.6	147.2	217.4	247.9	202.67	209.22
P9	74.65	80.77	155	144.6	213.5	249.2	197.37	203.92
P10	72.15	80.77	151.1	142.1	209.6	245.3	192.07	198.62
P11	67.95	84.67	149.7	139.3	206.9	243.9	186.77	193.32
P12	64.05	86.07	144.4	134	205.5	240	181.47	188.02
P13	60.15	89.97	140.5	128.7	201.6	238.6	176.17	182.72
P14	58.75	91.37	139.1	126	199	237.2	170.87	177.42
P15	53.45	96.67	133.8	123.4	193.5	231.9	165.57	172.12
P16	52.05	101.97	131.1	123.4	190.9	225.5	160.27	166.82
P17	46.75	103.37	128.5	124.8	188.1	224.1	154.97	161.52
P18	41.6	107.27	125.7	128.7	184.2	220.2	149.67	156.22
P19	40.2	109.92	120.5	131.3	180.3	217.5	144.37	150.92
P20	36.15	112.57	117.9	134	177.6	214.9	139.07	145.62

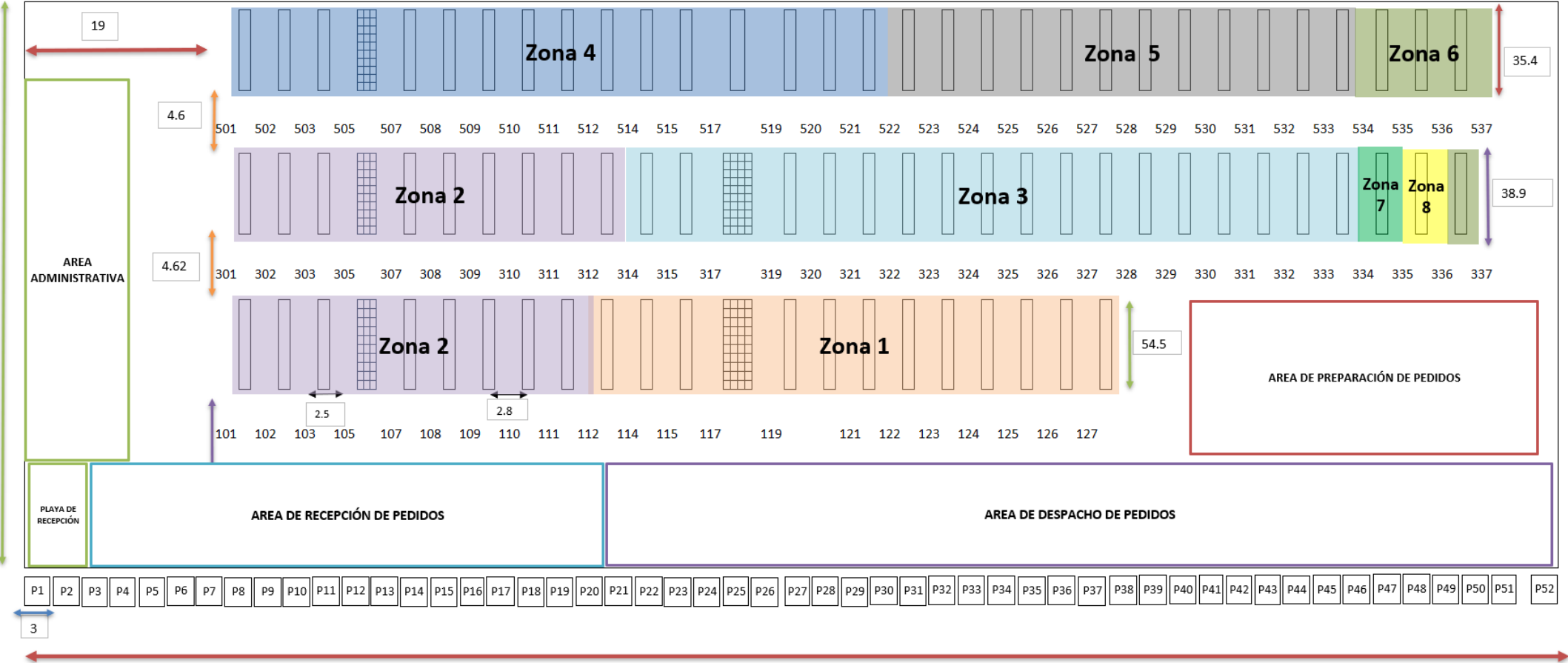
Anexo IV: Matriz de tiempo.

	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8
p3	0.49	0.51	0.88	0.83	1.18	1.36	1.15	1.18
p4	0.45	0.48	0.85	0.80	1.15	1.34	1.12	1.15
p5	0.45	0.46	0.83	0.79	1.15	1.33	1.09	1.13
p6	0.43	0.45	0.82	0.78	1.14	1.31	1.07	1.10
p7	0.41	0.43	0.81	0.75	1.11	1.26	1.04	1.07
p8	0.39	0.42	0.79	0.74	1.09	1.24	1.01	1.05
p9	0.37	0.40	0.77	0.72	1.07	1.25	0.99	1.02
p10	0.36	0.40	0.76	0.71	1.05	1.23	0.96	0.99
p11	0.34	0.42	0.75	0.70	1.03	1.22	0.93	0.97
p12	0.32	0.43	0.72	0.67	1.03	1.20	0.91	0.94
p13	0.30	0.45	0.70	0.64	1.01	1.19	0.88	0.91
p14	0.29	0.46	0.70	0.63	0.99	1.19	0.85	0.89
p15	0.27	0.48	0.67	0.62	0.97	1.16	0.83	0.86
p16	0.26	0.51	0.66	0.62	0.95	1.13	0.80	0.83
p17	0.23	0.52	0.64	0.62	0.94	1.12	0.77	0.81
p18	0.21	0.54	0.63	0.64	0.92	1.10	0.75	0.78
p19	0.20	0.55	0.60	0.66	0.90	1.09	0.72	0.75
p20	0.18	0.56	0.59	0.67	0.89	1.07	0.70	0.73

Anexo V: Representación de las zonas del centro de distribución.



Anexo VI: Representación de las medidas del almacén



Anexo VII: Datos y costos unitarios asociados al área de recepción y almacenamiento.

Datos			Costos unitarios					
Día	Turnos	Pallets	Actividad	Unidad de Medida	Tiempo promedio	Estibador (\$/h)	Trabajador operativo (\$/h)	Elevadorista (\$/h)
Lunes	3282	3282	Programar cita	min/cita	0.55	-	3.6	-
Martes	3003	3003	Descargar pallet	min/pallet	0.1	3.5	-	-
Miércoles	2923	2923	Etiquetar y registrar pallet	min/pallet	1.29	3.5	-	-
Jueves	3924	3924	Control de calidad en la recepción	min/unidad	0.15	3.5	-	-
Viernes	2972	2972	Transportar pallet	min/pallet	1.31	3.5	3.6	-
Sábado	3438	3438	Almacenar pallet	min/pallet	1.38	-	-	5.1

Anexo VIII: Tablas de los costos de la situación actual de la empresa

Programar cita						
Días	Turnos semanales	min/cita	Horas	\$/hora	Costo	
Lunes	391	0.55	3.5820	\$ 3.60	\$	12.90
Martes	368	0.55	3.3713	\$ 3.60	\$	12.14
Miércoles	362	0.55	3.3163	\$ 3.60	\$	11.94
Jueves	471	0.55	4.3149	\$ 3.60	\$	15.53
Viernes	379	0.55	3.4721	\$ 3.60	\$	12.50
Sábado	402	0.55	3.6828	\$ 3.60	\$	13.26

Descargar pallet						
Días	Turnos semanales	min/pallet	Horas	\$/hora	Costo total	
Lunes	3282	0.90	49.5	\$ 3.50	\$	173.09
Martes	3003	0.90	45.3	\$ 3.50	\$	158.38
Miércoles	2923	0.90	44.0	\$ 3.50	\$	154.16
Jueves	3924	0.90	59.1	\$ 3.50	\$	206.95
Viernes	2972	0.90	44.8	\$ 3.50	\$	156.74
Sábado	3438	0.90	51.8	\$ 3.50	\$	181.32

Etiquetar y registrar pallet						
Días	pallets	min/pallet	Horas	\$/hora	Costo total	
Lunes	3282	1.29	70.6	\$ 3.60	\$	254.03
Martes	3003	1.29	64.6	\$ 3.60	\$	232.43
Miércoles	2923	1.29	62.8	\$ 3.60	\$	226.24
Jueves	3924	1.29	84.4	\$ 3.60	\$	303.72
Viernes	2972	1.29	63.9	\$ 3.60	\$	230.03
Sábado	3438	1.29	73.9	\$ 3.60	\$	266.10

Control de calidad					
Días	unidades	min/unidad	Horas	\$/hora	Costo total
Lunes	3282	0.15	8.2	\$ 3.60	\$ 29.54
Martes	3003	0.15	7.5	\$ 3.60	\$ 27.03
Miércoles	2923	0.15	7.3	\$ 3.60	\$ 26.31
Jueves	3924	0.15	9.8	\$ 3.60	\$ 35.32
Viernes	2972	0.15	7.4	\$ 3.60	\$ 26.75
Sábado	3438	0.15	8.6	\$ 3.60	\$ 30.94

Transportar pallet al costado de rack					
Días	unidades	min/unidad	Horas	\$/hora	Costo total
Lunes	3282	1.31	71.7	\$ 3.60	\$ 257.97
Martes	3003	1.31	65.6	\$ 3.60	\$ 236.04
Miércoles	2923	1.31	63.8	\$ 3.60	\$ 229.75
Jueves	3924	1.31	85.7	\$ 3.60	\$ 308.43
Viernes	2972	1.31	64.9	\$ 3.60	\$ 233.60
Sábado	3438	1.31	75.1	\$ 3.60	\$ 270.23

Almacenar el pallet en su ubicación					
Días	unidades	min/unidad	hora	\$/hora	Costo total
Lunes	3282	1.38	75.49	\$ 5.10	\$ 384.98
Martes	3003	1.38	69.07	\$ 5.10	\$ 352.25
Miércoles	2923	1.38	67.23	\$ 5.10	\$ 342.87
Jueves	3924	1.38	90.25	\$ 5.10	\$ 460.29
Viernes	2972	1.38	68.36	\$ 5.10	\$ 348.62
Sábado	3438	1.38	79.07	\$ 5.10	\$ 403.28

Costo total de la situación actual

Días	Programar cita	Descargar pallet	Registrar pallet	Transportar pallet	Almacenar pallet
Lunes	\$ 12.90	\$ 173.09	\$ 254.03	\$ 257.97	\$ 384.98
Martes	\$ 12.14	\$ 158.38	\$ 232.43	\$ 236.04	\$ 352.25
Miércoles	\$ 11.94	\$ 154.16	\$ 226.24	\$ 229.75	\$ 342.87
Jueves	\$ 15.53	\$ 206.95	\$ 303.72	\$ 308.43	\$ 460.29
Viernes	\$ 12.50	\$ 156.74	\$ 230.03	\$ 233.60	\$ 348.62
Sábado	\$ 13.26	\$ 181.32	\$ 266.10	\$ 270.23	\$ 403.28

Anexo IX: Tablas de los costos de la propuesta para la empresa

El análisis a los costos de la propuesta es similar a la situación actual de la empresa, con la única diferencia que el costo de traslado de pallet se lo calculo de manera diferente. A continuación, se muestra el calculo que se efectuó para calcular el valor de la actividad desplazamiento de pallet.

Día	pallets recibidos	Tiempo desplazamiento (min)	horas	\$/h	Total
Lunes	3282	1387.8	23.1	3.6	\$ 83.27
Martes	3003	1374.1	22.9	3.6	\$ 82.45
Miércoles	2923	1378.7	23.0	3.6	\$ 82.72
Jueves	3924	1635.0	27.3	3.6	\$ 98.10
Viernes	2972	1371.6	22.9	3.6	\$ 82.30
Sábado	3438	1338.0	22.3	3.6	\$ 80.28

Costo semanal de la propuesta

Días	Programar cita	Descargar pallet	Registrar pallet	Transportar pallet	Almacenar pallet	Total
Lunes	\$ 12.90	\$ 173.09	\$ 254.03	\$ 83.27	\$ 384.98	\$ 908.26
Martes	\$ 12.14	\$ 158.38	\$ 232.43	\$ 82.45	\$ 352.25	\$ 837.65
Miércoles	\$ 11.94	\$ 154.16	\$ 226.24	\$ 82.72	\$ 342.87	\$ 817.93
Jueves	\$ 15.53	\$ 206.95	\$ 303.72	\$ 98.10	\$ 460.29	\$ 1,084.59
Viernes	\$ 12.50	\$ 156.74	\$ 230.03	\$ 82.30	\$ 348.62	\$ 830.19
Sábado	\$ 13.26	\$ 181.32	\$ 266.10	\$ 80.28	\$ 403.28	\$ 944.24

APÉNDICES

APENDICE I: Preguntas de la entrevista realizada al representante de operaciones del centro de distribución

- ¿Existe una planificación para atender los proveedores?
- ¿Cuál es el horario de atención a proveedores?
- ¿Qué tipo de productos recibe es el Centro de Distribución?
- ¿Qué características tienen los andenes? Describa sus dimensiones.
- ¿Cómo asignan los andenes actualmente?
- ¿En qué casos no se puede recibir mercadería en puertas consecutivas?
- ¿Qué tipos de unidades de carga reciben en el almacén?
- ¿Cómo es el proceso descarga de pedidos?
- En cuanto a la descarga de bultos, ¿cuál es el tiempo promedio de atención por vehículo?
- ¿Qué sucede cuando tienen demoras en la atención de los proveedores?
- ¿Cómo está distribuido el almacén? ¿Cuáles son sus medidas?
- ¿Cuántas posiciones pallets tiene el almacén?
- ¿Cómo es el traslado de bultos hacia las estanterías?
- ¿Existe alguna preferencia para distribuir los pedidos en los camiones?